

全電子式フィールド順次方式閉回路
カラーテレビジョンの研究

西 村 武

全電子式フィールド順次方式閉回路
カラーテレビジョンの研究

西 村 武

DOC

1973

3

電気系

内 容 梗 概

従来、簡易型のカラー閉回路テレビジョン装置（以下カラーCCTVと略す）には、フィールド順次方式でしかも三色分解に回転フィルタを用いたものが多く採用されていた。この方法は簡単ではあるが、ビジコンの残像効果のために色相のずれと色純度の低下を伴う欠点があった。これに対して、回転フィルタを廃して、三原色像を同時に1本の撮像管の光電面上に並べて投影し、これを順次走査する方法をとれば、上記の欠点なしにフィールド順次式のカラーテレビ信号を得ることができる。本論文はこのような電子的な方法によるフィールド順次式のカラーCCTVの実用化に関する研究結果を述べたものである。構成は以下のようになっている。

オ1章は序論で、カラーCCTVの必要性和本研究を行うに至った理由を述べている。

オ2章では各種のカラーCCTVの方式を比較検討し、簡易なカラーCCTVには全電子式フィールド順次方式を採用するのが有利であると結論している。

オ3章は全電子式フィールド順次方式カラーCCTVを実用化するための基本的な問題点を論じ、特に光学系の開発とカメラ垂直偏向の直線性の補正がシステムの成否を左右するものであることを述べ、最後に偏向周波数、走査線数、映像信号帯域幅などの实用限界について論述している。

オ4章は光学系について論じている。まずこの方式に用い得るような三色分解光学系の構成を4種類考え、それらのうちで、3枚の合同なダブルレットレンズを適当な形状に切断し整列してこれをリレーレンズとして用いるのが最適であると結論した。そしてこのレンズ群をトライアッド・レンズと命名した。つぎにトライアッド・リレーレンズを構成する原レンズの設計について述べ、さらにフィールドレンズの設計、三色分解用フィルタの選択について考えた結果を述べてある。またトライアッド・リレーレンズの整列法としては2枚のレンズ片を固定し、残り1枚を摺動可能とした上、全体の回転機構を組み込むのが最適であるとしている。

オ5章は回路系の問題である。ここでは垂直偏向の直線性に対する厳しい要求と光学系の整列不良の補正を同時に解決するための有効な方法を見出した。また色切替のためのゲート信号発生回路の設計、ビジコンのシェーディングによる色相ずれの補正、高電圧集束による解像力の改善などについても述べている。

オ6章は本方式によるCCTVの性能についての検討で、画質、感度、安定度などを検討した結果、実用性のあるものであることを結論している。

オ7章は結言で、本研究でとり上げた問題の結論と、本研究の工学的意義について述べたものである。

目 次

オ1章 序 論	5
オ2章 閉回路カラーテレビジョン方式	6
2.1 カラーテレビジョン方式の分類 — 同時方式と順次方式	6
2.2 3撮像管式同時方式	7
2.3 4撮像管式同時方式（輝度分離方式）	9
2.4 2撮像管式同時方式（2撮像管輝度分離方式）	10
2.5 1撮像管式同時方式	12
2.6 点順次方式	15
2.7 線順次方式	16
2.8 回転フィルタ式フィールド順次方式	17
2.9 全電子式フィールド順次方式	20
2.10 まとめ	22
オ3章 全電子式フィールド順次方式の基本的検討事項	23
3.1 全電子式フィールド順次方式における光学系の問題点	23
3.2 全電子式フィールド順次方式における回路系の問題点	24
3.2.1 同期方式	24
3.2.2 垂直偏向系	24
3.2.3 水平偏向系	25
3.2.4 偏向系のその他の問題	25
3.2.5 映像増幅系	27
3.3 撮像管の問題点	28
3.4 受像管の問題点	30
3.5 走査線数，映像信号帯域幅と偏向周波数の決定	30
3.5.1 走査線数と映像信号帯域幅	30
3.5.2 垂直偏向周波数	31
3.5.3 水平偏向周波数	36
3.6 まとめ	37
オ4章 全電子式フィールド順次方式の光学系	38
4.1 三色分解光学系の構成	38
4.1.1 ダイクロイックミラー式とダイクロイックプリズム式	38
4.1.2 3反射鏡式	40
4.1.3 屈折式	43

4.1.4	トライアッド式	44
4.1.5	光学系の選択	46
4.2	トライアッド式光学系の基本設計	46
4.3	リレーレンズの設計	49
4.3.1	単レンズを用いたリレーレンズ	50
4.3.2	セメントドダブルレットレンズを用いたリレーレンズ	57
4.4	フィールドレンズの設計	64
4.5	三色分解用フィルタの設計	69
4.5.1	分光特性の計算	69
4.5.2	フィルタの選択	75
4.5.3	総合分光感度特性	77
4.5.4	光源変更の問題	78
4.6	トライアッド式光学系の光学設計	80
4.7	トライアッド式光学系の機械設計	80
4.8	まとめ	83
オ 5 章	全電子式フィールド順次方式の回路系	84
5.1	回路系の構成	84
5.2	映像増幅回路	84
5.3	同期信号発生回路	84
5.3.1	同期方式	84
5.3.2	垂直同期信号発生回路	88
5.3.3	水平同期信号発生回路	89
5.3.4	帰線消去信号混合回路	91
5.4	ゲート信号発生回路	91
5.5	カメラ垂直偏向回路	92
5.6	カメラ水平偏向回路	97
5.7	偏向コイルアセンブリ	97
5.8	シェーディングの対策	99
5.9	ビジコンの高電圧集束	102
5.9.1	高電圧集束の必要性	102
5.9.2	実験方法	102
5.9.3	実験結果	102
5.10	まとめ	103
オ 6 章	全電子式フィールド順次方式カラーテレビジョンの性能	104
6.1	画質	104

6.1.1	解像度	104
6.1.2	色再現性	104
6.1.3	階調	106
6.1.4	走査線構造	106
6.1.5	画面の輝度	106
6.2	感度	107
6.3	安定度	107
6.4	まとめ	107
才7章	結 言	108
	謝 辞	109
	参考文献	110
	付 録	113
A 1	物面と像面が薄いレンズの主点面上で交わることの証明	113
A 2	薄い単レンズの球面収差	115
A 3	光線の三角追跡	118
A 4	Harting の表	123
A 5	インターレースを行なわせるための簡易な方法	125
A 5.1	従来試みられた二、三の方法	125
A 5.1.1	Picturephone の方法	125
A 5.1.2	Lunn と Mumford の方法	126
A 5.2	筆者の構成 (I)	128
A 5.2.1	構成と動作原理	128
A 5.2.2	実験	130
A 5.2.3	考察	130
A 5.3	筆者の構成 (II)	135
A 5.3.1	構成と動作原理	135
A 5.3.2	実験	136
A 5.3.3	考察	138
	付録の参考文献	140

第 1 章 序 論

カラーテレビジョンが白黒のテレビジョンにくらべて、より多くの情報と、より多くの満足を与えるものであることはいうまでもない。このことは、現在の家庭用カラーテレビジョン受像機の目覚ましい普及ぶりを見れば明らかなことである。一方、いわゆる閉回路テレビジョン装置（以下CCTV^(*)と略記する）の場合はどうであろうか。CCTVの場合にも、本質的にはカラー化への要求は家庭用テレビジョン受像機の場合と同様と考えてよいであろう。ただし、CCTVの装置は工程監視用とか教育用とかのようにある一定の目的のために用いられるのが普通であるから、その目的対象が色彩の有無を必須の条件とするか否かが考慮の対象となる。ある場合には色彩情報はほとんど無用かも知れないし、またある場合には色彩情報を含まない映像は実用価値がないといってよいほどカラー化が必要かも知れない。後者の、カラー化を必要とする場合の一つの例は医学教育用のCCTVであろう。例えば手術場面を撮像して学生に見せるとする。この場合、組織の病変などを学生に正確に理解させるためには色彩は不可欠の要素であろう。これと類似の要求は他の分野における教育用のCCTVについてもあり得ると思われる。また産業応用の分野についていえば、炉内監視、圧延状況監視、交通信号監視、あるいは赤外線に感度のある撮像管を利用しての物体の表面温度の測定¹⁾など、やはり色彩が必要な、または色彩が加わることによって情報の価値が増すような例がいくつか考えられる。

CCTVのカラー化を考える際に考慮しなければならないもう一つの重要な点は経済性の問題である。現今カラーCCTVの使用実績が低い理由の一つは、装置が高価にすぎ、一部の、どうしてもカラーCCTVでなければ使用価値がないという位に必要とされる場合にしか用いられないことにあると思われる。したがって、この種の装置を設計し、あるいは新しい方式を研究するに当っては、その経済的構成ということを常に念頭におかねばならない。技術的困難の克服と経済性とをいかに両立させて問題を解決して行くかが、この種の方式研究のキーポイントであるといえる。

本研究は簡易でしかも色再現性のよいカラーCCTVを開発することを目的として行なったものである。CCTVの場合は撮像管にビジコンを使用するのが普通であるが、この場合ビジコン特有の残像による画質の劣化を免れることができない。とくに簡易を目的として回転フィルタを用いたフィールド順次方式を採用する場合には色再現性がいちじるしく悪く、これが実用化をはばむ大きな原因となっていた。筆者はフィールド順次方式を全電子的に構成することによって残像による色再現性劣化を避け、フィールド順次方式の実用性を高めることを考え、これに伴う技術的な問題点を徹底的に検討し、それらの問題点に対する具体的な解決を与えた。本論文にはこの全電子式フィールド順次方式閉回路カラーテレビジョンシステムの実用化のための研究結果を詳細に記述した。

電子工学の進歩は日進月歩であって、本研究もその流れの一つとしてとらえなければならないことはもちろんである。本研究の工学的意義については最後に結言の章で論述する。

(*) Closed-circuit television の略である。最初テレビジョンの“産業応用”という意味合いから Industrial television (ITV) と呼ばれたが、閉回路テレビジョンの用途が教育用、商業用さらには家庭用へと拡大して来た今日では ITV と呼ぶのはあまり適切でなく、むしろ CCTV という呼称で統一すべきであるように思われる。

第2章 閉回路カラーテレビジョン方式

2.1 カラーテレビジョン方式の分類 — 同時方式と順次方式

カラーテレビジョンを伝送方式から大きく分類すれば同時方式と順次方式とになる。²⁾ 同時方式とは図 2.1 のように R, G, B の三原色成分に対応する信号が同時に伝送され画像再現される方式である。また順次方式とは図 2.2 に示すように上記三原色信号が時間的に切り替えられて交替に伝送され再生される方式である。

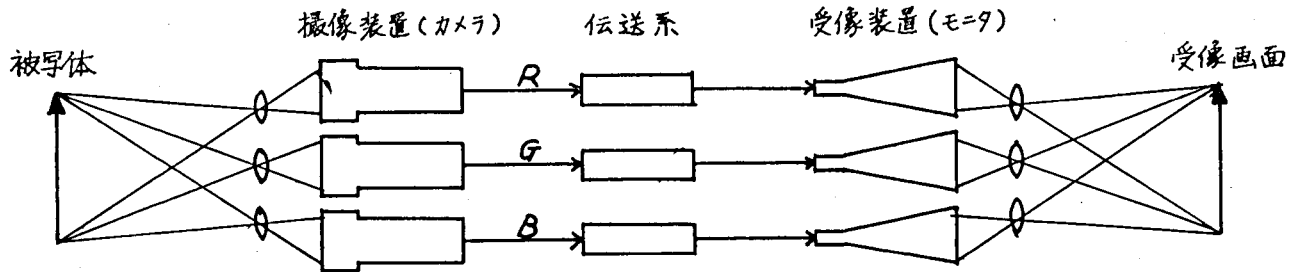


図 2.1 同時方式カラーTV系統図

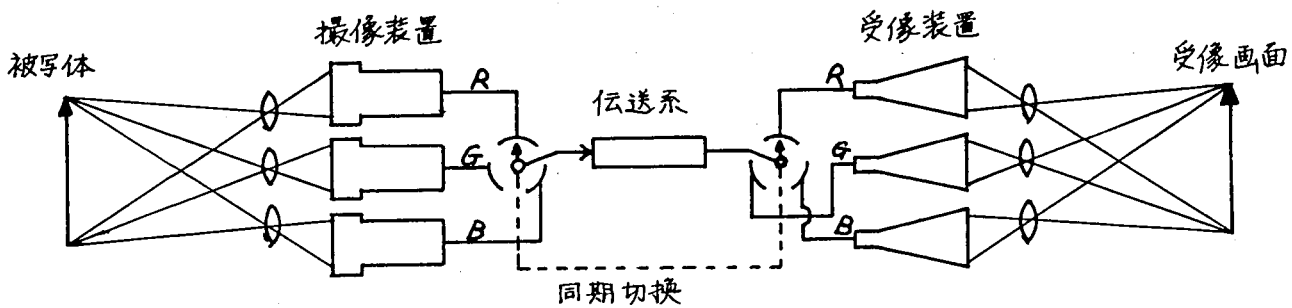


図 2.2 順次方式カラーTV系統図

図 2.1 からわかるように、同時方式では原理的には撮像、伝送、受像系が 3 組必要である。実際問題として放送用などを考えるとこれは甚だ不便であるから、1 チャンネルの伝送系で 3 色を同時に伝送するための考案がなされている。いわゆる NTSC 方式、SECAM 方式などはその一例である。

一方、順次方式は原理的に伝送系は 1 チャンネルでよい。信号の切り替えを画面（フィールド）ごと、走査線ごと、あるいは絵素ごとのいずれで行なうかによって、フィールド順次方式（面順次方式）、線順次方式、点順次方式に分類される。

同時方式、順次方式を含めたカラーテレビジョン方式の分類法はいろいろ考えられる。たとえば同時方式をさらに伝送法から分類して、周波数分割方式、1 副搬送波方式、2 副搬送波方式、同時、順次混合方式などとわけることもできよう。³⁾ しかしここでは次のような分類をすることにする。すなわち同時方式を主として撮像方式のちがいで 3 撮像管式、4 撮像管式（輝度分離方式）、2 撮像管式（2 撮像管輝度分離方式）、1 撮像管式に分け、順次方式を前述のごとく点順次方式、線順次方式、フィールド順次方式に分ける。この分類は非常に合理的な分類とはいえないが、CCTV システムとしての経済的、技術的問題点を把握して比較検討する上には便利である。以下上記の分類に従って、それぞれの方式について考察を進める。

2.2 3 撮像管式同時方式

カラーCCTVの方式のうちで、現在もっとも広く用いられているのは3本の撮像管を使用した同時方式（3色の信号が同時に並列に送られる）である。CCTVの場合には、撮像管としてビジコンが広く用いられ、この場合3V式あるいは3Vカメラなどと呼ばれることもある。この方式は図2.3に示すように最も考えやすいものである。すなわち、被写体の像は3色分解光学系によって、赤、緑、青の三原色成分に分解され、それぞれ撮像管の光電面に結像する。そうしてこれらの撮像管からそれぞれ赤、緑、青の色成分に対応する信号が取り出される。

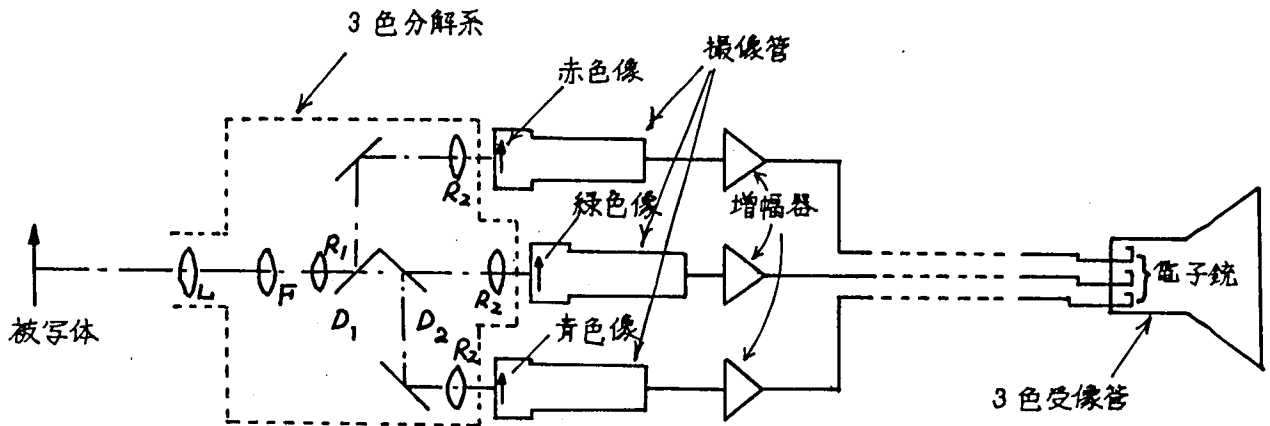


図 2.3 3 撮像管同時方式

3色分解のため最も普通で使用される方法は、ダイクロイックミラー、あるいはダイクロイックプリズムと補正フィルタを組合わせて使う方法である。⁴⁾ ダイクロイックミラーはガラスの表面にZnS, MgF₂等の蒸着多層薄膜を形成せしめたものであって、光の干渉によって特定の波長域の光線を選択的に反射する。図2.3においてD₁は赤領域の光を反射するダイクロイックミラー、D₂は青領域の光を反射するダイクロイックミラーである。緑領域の光はD₁, D₂のいずれによっても反射されることがなく透過する。ダイクロイックプリズムはプリズムの表面に同様の薄膜を形成させ、これを適宜接合して同じような色分解を行わせるように構成したものである。ダイクロイックミラーあるいはダイクロイックプリズムによる色分解のみでは、赤、緑、青各チャンネルに必要な分光特性を得ることができないので、通常これを補正フィルタで補正する。

光学系は上記のダイクロイックミラーのほか、撮影レンズL、フィールドレンズF、リレーレンズR₁およびR₂などによって構成される。リレーレンズは撮影レンズLによって一度Fの位置に結像せしめられた被写体像を各撮像管の光電面上に再結像させるためのものである。リレーレンズの配置によっては、ダイクロイックミラーを光線が通過する際に生ずる非点収差を補正するための補正板を光路の途中に置かなければならない場合もある。

3色の信号を伝送する方式を大別すれば二通り考えられる。そのオ一は図2.3のように3色の信号をそれぞれ増幅し、それぞれ独立に3チャンネルの伝送系を以て伝送する方法であって、閉回路テレビジョンの場合はこの方式をとることが可能である。そのオ二は伝送系に3チャンネルを費すことができない場合あるいは標準放送システムとの両立性を考慮する場合にとられる方法であって、R, G, Bの3色信号を輝度信号(Y信号)と2つの色信号とに変換する。そしてこれらの信号を合成して1

チャンネルあるいは2チャンネルで送出する。この変換の方法ならびに合成の方法は幾通りも考えられるが、NTSC方式の例でいえば、R, G, Bの各信号を

$$Y = 0.30R + 0.59G + 0.11B \quad (2.1)$$

で与えられるY信号と、

$$I = 0.60R - 0.28G - 0.32B \quad (2.2)$$

および $Q = 0.21R - 0.52G + 0.31B \quad (2.3)$

で与えられるI, Qの2つの色信号とに変換する。⁵⁾⁻⁷⁾ I信号の帯域を1.5MHzに、Q信号の帯域を500kHzに制限してから、これらの信号を平衡変調器に通し、おのおの位相が90°異った2つの3.58MHzの副搬送波を変調する。⁸⁾ これら各々I, Q成分で変調された副搬送波と、Y信号とを加算した後4.25MHzの低域濾波器に通し、帯域を制限する。このようにして作られたY, I, Qの合成信号を伝送する。Y信号とI, Q成分のたがいの干渉を避けるためそれらの周波数スペクトルが一致しないような関係になるように水平、垂直の走査周波数と副搬送波周波数を定める。^(*)9)

受信側においては2.1MHz~4.1MHzの帯域通過濾波器により、色信号成分を合成信号より分離した後、同期検波によりI, Q両成分を復調する。¹⁰⁾ 各原色信号はY信号とI, Q信号を次の割合で合成することにより得られる。

$$R = Y + 0.96I + 0.63Q \quad (2.4)$$

$$G = Y - 0.28I - 0.64Q \quad (2.5)$$

$$B = Y - 1.11I + 1.70Q \quad (2.6)$$

また色復調の位相を適当に選ぶことによって、直接R-Y, G-Y, B-Yのような信号を得ることもできる。その他いろいろの色信号復調の方法がある。¹¹⁾

3撮像管同時方式は、3チャンネルの伝送系を使用できる場合にはCCTVとしては最も優れた品質の画像送受ができる方式であるといえる。信号を変換して1チャンネルで伝送する場合でも、総合的にいえば後述の1撮像管方式にくらべて良好な画像送受を行い得ることが期待される。しかしこの方式には同時に次のような問題点がある。

- (1) 撮像管が3本必要で、これに関係する回路部分も3組必要である。
- (2) 三色分解光学系が必要である。
- (3) 三色像が正しく重なり合わないと画質が著るしく低下する。重ね合わせを正しくするためには水平、垂直両偏向の振幅、直線性を3つの撮像管系において常に等しく保つ必要があり、同時に偏向歪、水平および垂直偏向相互間の直交性のずれなども極力小さくするか、あるいは少なくとも3つについて等しく調整する必要がある。

(*)NTSC方式では水平走査周波数を $f_H = 4.5 \times 10^6 \div 286 = 15,734,264 \text{ Hz}$, 垂直走査周波数を $f_V = 2f_H \div 525 = 59,94 \text{ Hz}$, 副搬送波周波数を $f_S = \frac{f_H}{2} \times 455 = 3,579,545 \text{ MHz}$ と規定している。

- (4) 撮像管，回路などの経時変化，劣化は直ちに重ね合わせ不良，色調ずれなど画質の低下を招くから，常に保守に気を配るか，自動的にこれを補償する手段を講じなければならない。
- (5) 以上のような理由で装置は大型，複雑で高価につき，保守も面倒である。
- (6) 伝送路を3チャンネルとれない場合には画質の上で多少問題がでてくる。少なくともNTSC方式をとる場合は色度信号の帯域がかなり大きく制限されるから，微細な部分の色の変化は再現されない。

この方式によるカラーテレビジョン装置は原理的に性能の優れたものである。しかし放送用以外の用途で用いるには取扱い，保守が面倒で，装置自体の費用と保守の費用がかかり，CCTVとしては，是非カラーでなければならないという目的がはっきりしている場合のほかは普及性に乏しいと結論することができる。

2.3 4撮像管式同時方式（輝度分離方式）^{12) 13)}

この方式は3撮像管式の持つ一つの欠点である重ね合わせ不完全の場合に起る画質の低下，ことに解像力の低下を避けるために考えられたものである。4本の撮像管のうち1本を輝度信号（Y信号）を得ることを専門に使用し，残りの3本を色信号用に使用するものである。これによれば像の明暗のコントラストはもっぱら1本の撮像管から得られるY信号によって規定され，重ね合わせが完全でない場合にも解像度を害することが少ない。Y信号を得るための，光学系と撮像管の光電面を含めた分光感度は図2.4に示すような比視感度曲線に相似でなければならない。図2.5は4撮像管方式の光学系の一例である。

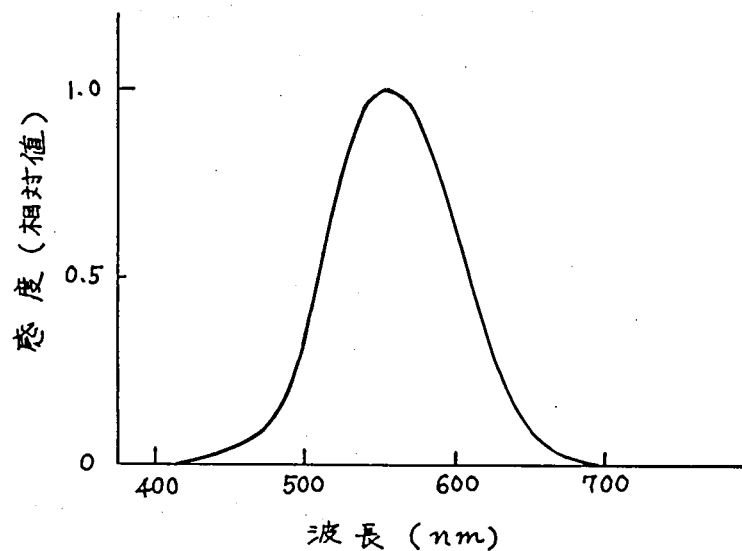
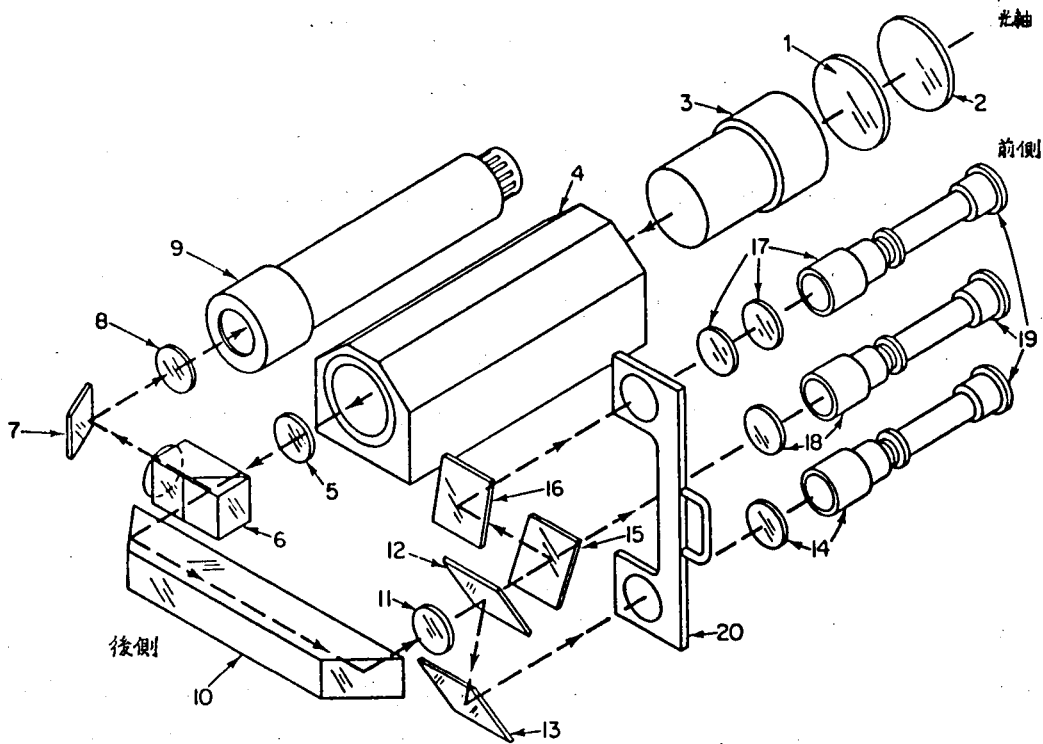


図 2.4 Yチャンネルの必要分光特性
(標準比視感度)



- | | | | |
|-----|---------------|-----|---------------|
| 1. | 非偏光フィルタ | 11. | フィールドレンズ |
| 2. | N.D. フィルタ | 12. | ダイクロイックミラー(青) |
| 3. | レンジコンバータ | 13. | 反射鏡 |
| 4. | ズームレンズ | 14. | 色補正フィルタ (青) |
| 5. | 光學くさび | 15. | ダイクロイックミラー(赤) |
| 6. | プリズム | 16. | 反射鏡 |
| 7. | 反射鏡 | 17. | 色補正フィルタ (赤) |
| 8. | N.D. フィルタ | 18. | 色補正フィルタ (緑) |
| 9. | 4.5"イメージオルシコン | 19. | 色チャンネル用撮像管 |
| 10. | プリズム | 20. | フィルタアセンブリ |

図 2.5 4 撮像管分離輝度式カメラの光学系
(RCA TK42)

Y 信号を得るための撮像管はそれが解像力を規定するものであることを考えるとそれ自身解像能力の高いものであることが望まれる。

この方式の問題点の多くは本質的には 3 撮像管式と同様であって、撮像管が 1 本増えただけ複雑になる。そのため、CCTV としてはこの方式を使わなければならない理由はあまりないと考えられる。

2.4 2 撮像管式同時方式 (2 撮像管輝度分離方式)^{14)~18)}

NTSC 方式を前提とすれば、色の情報を含む I, Q 成分はいずれ 1.5 MHz なり 500 kHz なりに伝送帯域を制限されてしまうのであるから、4 撮像管式のように 3 本の撮像管をそれぞれ R, G, B 3 色の撮像に用いるのは不経済ということになる。そこでこれを 1 本に統合する。すなわち Y チャンネルに 1 本、色チャンネルに 1 本、計 2 本の撮像管を使用する。単一の撮像管で色信号を発生させる方法は後述の 1 撮像管方式と関連していろいろ考えられるが、実際に 2 撮像管式のカメラに使用されている方法の原理を図 2.6 に示す。

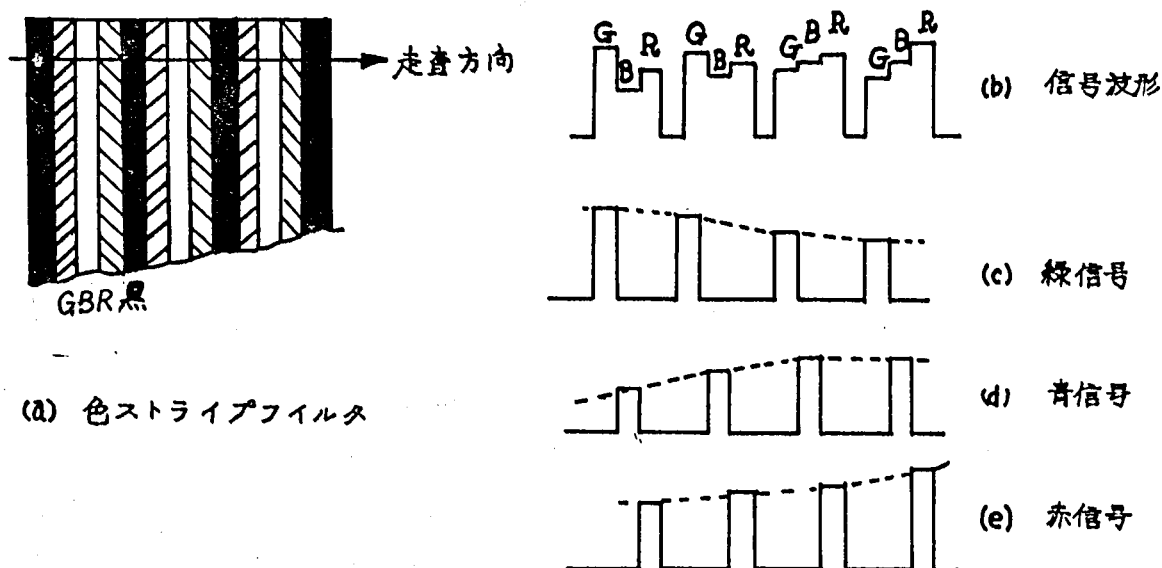


図 2.6 単一撮像管で色信号を得る方法 (位相分離形)

図 2.6(a)は色分解のために用いられるフィルタである。これは一つのフィルム上に赤、緑、青の 8 領域の光をそれぞれ透過する部分と、光を透過しない黒い部分とを、細長くストライプ状に順次に形成させたものである。これを撮像管の前方におき、適当な光学系を用いて、光電面上にこれらのストライプフィルタを透過した光像が結像するようにする。イメージオルシコンの例でいえば、この光像はターゲット上に電荷像として再結像するが、ビームが水平方向に走査する際に、ビームはこの電荷像の、それぞれ R、G、B および黒の情報を含む部分を順々に通過し、得られる信号波形は図(b)のようになる。黒の部分は光量 0 でこれに対応する信号は落ち込んでいるから、この落ち込んだ部分をインデクス・パルスとしてとり出す。このパルスから少しずつ遅延した 8 つのゲートパルスを作り、撮像管から得られた信号のうちの緑に対応する部分、青に対応する部分、赤に対応する部分を、それぞれこれらのゲートパルスでゲートしてぬき出す。このようにしてサンプルされた 8 つのパルス列をそれぞれ低域通過フィルタに通すか、あるいはその包絡線をとるかすることによって R、G、B の 8 色信号が得られることになる。

この方式によれば、色チャンネルについては信号の帯域はストライプフィルタの中の R、G、B、黒のストライプの組数で制限されてしまいが、一方輝度信号の方は専用の撮像管で得られるから、合成された画像の解像力は十分良好である。色チャンネルの方の帯域の狭さは、系全体を N T S C 方式で構成する場合にはそれほど問題にならない。しかも撮像管は 2 本ですみ、割合経済的に構成できる可能性がある。一方これを閉回路カラー TV という立場から見ると、次のような問題点が残る。

- (1) 撮像管が 2 本必要である。
- (2) ストライプフィルタを作るのに費用がかかる。
- (3) ストライプフィルタを含む光学系構成に費用がかかる。
- (4) 色信号を発生させるための回路構成が複雑となる。

これらの問題のために簡易を目標としたカラー C C T V にはこの方式は経済性の点で最適とはいえない。一方この方式の性能上の問題点はつぎのようなものである。

(5) 色チャンネルの帯域が制限を受け、このため細部の色がつかない。

(6) ストライプフィルタの製作技術の上から、その分光特性は理想の分光特性からはかなり遠いものとなる。このため正確な色再現は困難である。

これらの問題点のために非常に高い画質を目標としたカラー-CCTVに対しても、この方式はやはり最適とはいえない。

2.5 1 撮像管式同時方式

2 撮像管輝度分離方式の場合の色チャンネルにおける信号発生方法に着目すれば、これはまさに1本の撮像管のみで同時に3色の信号を得る、1撮像管同時方式である。したがって、このようにして得られたR、G、Bの3色信号を3撮像管式の場合と同様に処理して伝送し再現すればよい。この方法は3色信号をいったんそれぞれ位相の異なるゲートパルスでぬき出して時分割で取り出した後、適当な処理によって同時信号に変換するのであって、位相分離形とよばれる。これとは別に、1本の撮像管を用いた同時方式として考えられているものには、周波数分離形ともよぶべき、次のような方法がある。¹⁹⁾⁻²⁴⁾

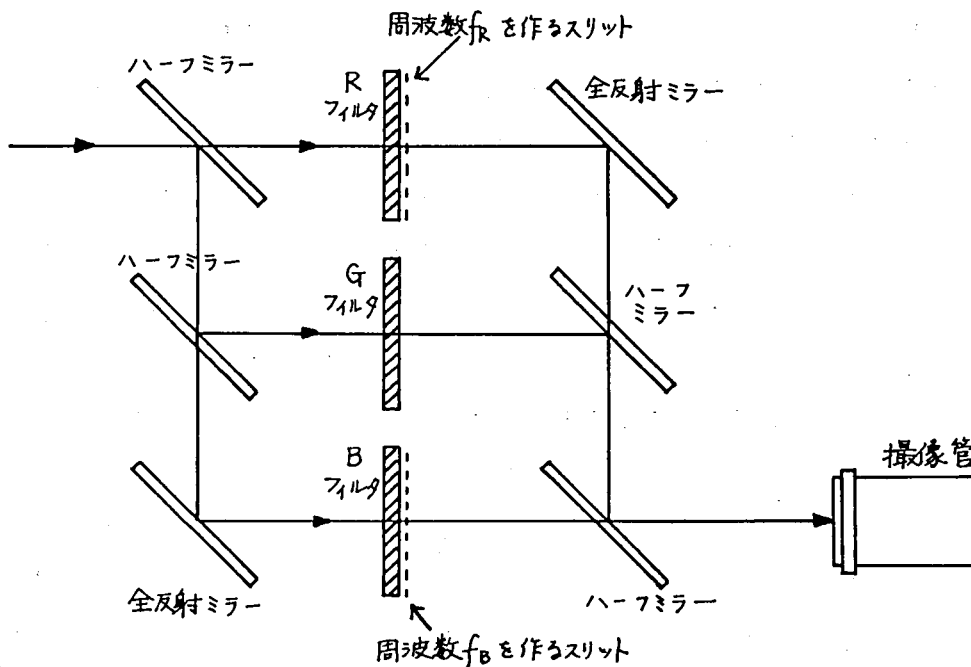


図 2.7 周波数分離形 1 撮像管同時方式の光学系原理図

図 2.7 は周波数分離形 1 撮像管同時方式の光学系の原理図である。光像はハーフミラーおよび通常のミラーにより3つの光路にわけられ、それぞれの光路にはR、G、Bのフィルタがおかれている。このうちRとBの光路にはそれぞれピッチの異なるすだれ状のスリットが設けられ、光はこのスリットを通して進む。R、G、B 3色像はそれぞれ撮像管の光電面上にたがい重なり合って再結像する。この際RとBの光像はスリットにより変調を受けていることに注意すべきである。このように構成すると、撮像管のターゲットをビームが走査する際に得られる信号は、それぞれスリットのピッチに対応した周波数成分 f_R 、 f_B を基本波とするパルスをR、Bの色像に対応する変化分で振幅変調した形

の成分と、搬送波を変調しない、光量変化そのままの形のG成分とを含むことになる。この関係を周波数スペクトラムを用いて表わせれば、図2.8のようになる。したがってこのような信号を、図2.9に示すような通過特性を持つ3つのフィルタに通して $G + \frac{R}{2} + \frac{B}{2}$ 、 $\frac{R}{2}$ 、 $\frac{B}{2}$ なる3成分の分離を行ない、 $\frac{R}{2}$ 、 $\frac{B}{2}$ 成分については復調した上、マトリクス回路を通して上記3成分の和、差をとることによってR、G、Bの3成分を得ることができる。

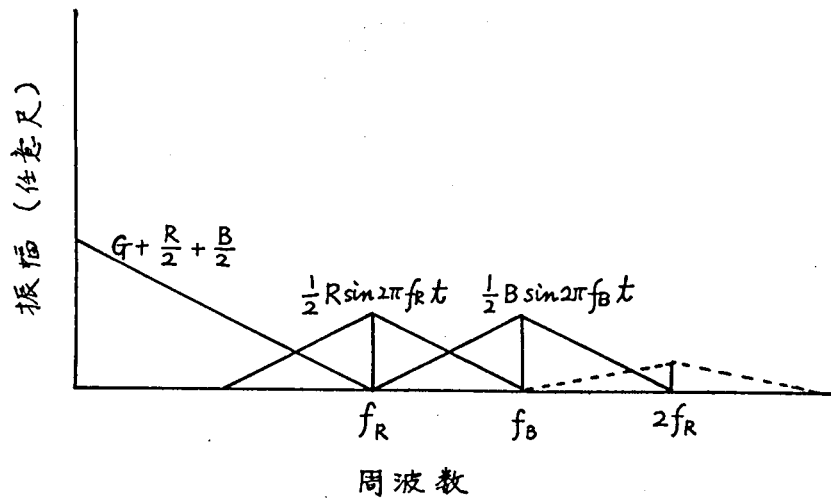


図2.8 周波数分離形における撮像管出力の周波数スペクトラム

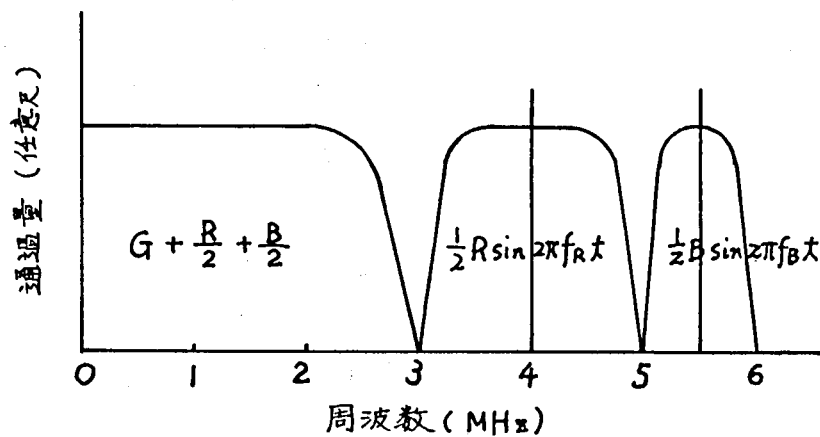
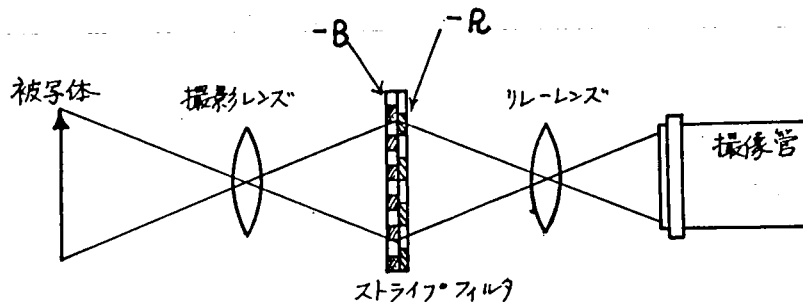
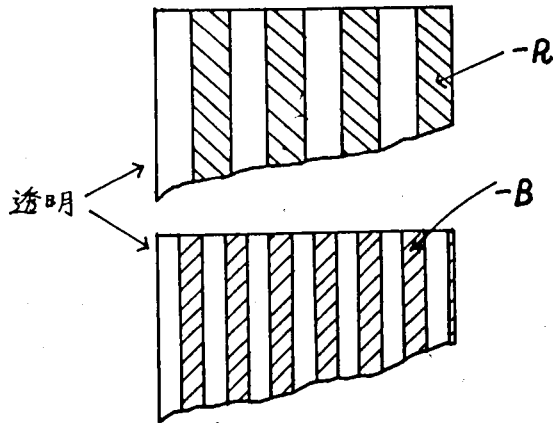


図2.9 周波数分離形の分波フィルタの特性例

今述べた方法では、RとBの光路にスリットをおき、それぞれRのみを透過する部分と全く光を透過しない黒の部分、同じくBのみを透過する部分と黒の部分を作ることによってRとBの変調成分を作り出したのであった。ところでこれを逆にして、全部の光を透過する白の部分とR成分のみを吸収して透過しない部分、同じく白の部分とB成分のみを吸収して透過しない部分を光路途中にスリット状に作っても、やはりR、Bの変調成分が得られることは容易にわかる。このことを利用すると光学系を図2.10に示すように簡単にすることができる。すなわちこの場合には、Rを透過させない-Rの部分と透明な部分をストライプ状に並べて作ったフィルタと、-Bの部分と透明部分を同じくストライプ状に並べて作り、しかもそのピッチが前者と異なるようなフィルタを重ねて光路途中に配置し、これらの像が撮像管の光電面上に形成されるように光学系を構成する。こうすれば撮像管から得られ



(a) 光学系の構成



(b) ストライプフィルタ

図 2.10 スリットを直列に配列した光学系

る信号は $G - \frac{R}{2} - \frac{B}{2}$, $-\frac{R}{2}$, $-\frac{B}{2}$ の 3 成分をそれぞれ異なる周波数成分として含むから、先に述べたと同様にこれらを濾波器によって分離、復調した後マトリクス回路に加えて R , G , B の 3 成分を取り出すことができる。図 2.10 から明らかなようにこの光学系は最初に原理として説明した図 2.7 のものにくらべて構成が簡単である。

次に位相分離形と周波数分離形についてそれぞれ問題点を検討してみよう。

(1) 解像度とストライプフィルタ

解像度は本質的にストライプフィルタの細かさで制限される。特に位相分離形の場合には R , G , B およびインデックス用の黒のストライプが一組になって 1 絵素を形成するわけであって、いまかりに水平方向に 300 絵素を再現させるとしても、300 組すなわち合わせて 1200 本のストライプフィルタを作らなければならない。これは非常に困難なことである。これに対して周波数分離形の場合には少なくとも緑のチャンネルだけはストライプの細かさに関係なく取り出すことができる。しかしこの場合においても、 R , B チャンネルのストライプをむやみに細かくすることはできないから、撮像管からの出力信号において R , B の搬送波成分はせいぜい数 MHz となり、これらと分離するためには G チャンネルの帯域もそれにしたがって低い方に制限されることになって、あまり高い解像度は期待できない。

(2) 水平偏向の振幅と直線性

撮像管におけるビームの水平偏向についていえば、その振幅を厳密に一定に保ち、かつ直線性も極めて良好なことが要求される。これは特に周波数分離形の場合に厳しく要求される。もし水平偏向の直線性がよくないと色信号の分離が不良となり、色相の全体または部分的なずれの原因となる。水平偏向を直線的に保つことは一般に技術的困難とそれを解決するための出費を伴う。

位相分離形の場合は振幅および直線性に対する要求は周波数分離形の場合ほど厳しくないが、いず

れにしても振幅，直線性の変動は好ましいことではない。

(3) 光学系

ストライプフィルタは相当微細な構造を持っているものであるから，光学系のレスポンスは高い周波数の領域に至るまで良好なことが要求される。もしレスポンスが悪くと，単に解像力の低下とか画像のエッジの不鮮明といった類の画質の低下にとどまらず，時分割式の場合には混色 — 色純度の低下を来し，また周波数分離形の場合には高い周波数の搬送波に乗った色信号の低下 — 色バランスのくずれを生ずる原因となる。ことに視野中央部と周辺部でのレスポンスの違いには十分留意して，極力その差がないように光学系を設計しなければならない。また光学系の構成自体もどちらかといえば複雑で，加えて上記の要求を満さなければならないことを考慮すると，光学系における出費は相当大きいものとなる。

(4) 撮像管の選択

撮像管の解像特性はいうまでもなく優秀であることを要する。単なる限界解像本数において優れているということばかりではなく，いわゆる変調度特性の良好であることが要求される。これは本質的に光学系のレスポンスに対する要求と同じである。

(5) 回路構成

回路構成はやや複雑である。

(6) その他の問題

位相分離形においては黒ストライプによりインデックス・パルスを得るが，被写体の明暗にかかわらずこれを確実に取り出すために，若干のバイアス光を必要とする。このため被写体が暗い場合には十分なコントラストが得られないことがあり得る。

この方式は一本の撮像管で同時方式のカラーテレビ信号が得られるという大きな特長を持っているが，上に述べたように実用化のために解決しなければならない問題が多く，しかもこれらの問題の解決には相当の困難が予想される。したがって簡易を目標としたCCTVにはこれらの方式は必ずしも最適とはいえない。

2.6 点順次方式

順次方式のうち色切替を絵素ごとに行なう方式が点順次方式である。^{25) - 30)} 点順次方式の最も原理的な方法は図 2.1 1 に示すようなものであるが，この方法では3本の撮像管を要することになる。単一の撮像管で点順次方式を実現するには，1撮像管同時方式のうちの位相分離形の方法を用いればよい。すなわち位相分離形の撮像方式で低域濾波器に入る前の信号波形を見ればこれは点順次方式その

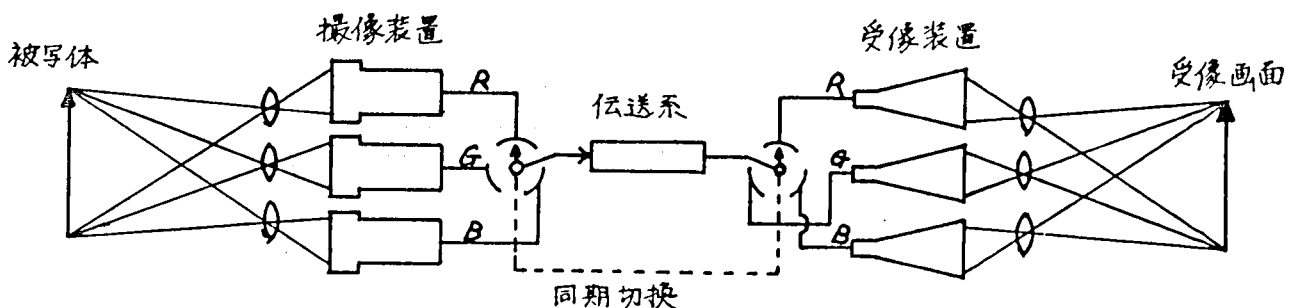


図 2.1 1 点順次方式原理図

ものである。ただしこの場合 R, G, B 各 1 点を以て 1 絵素が形成されるので、色切替は $1/3$ 絵素ごとに行われると考えるべきである。

CCTV の場合には伝送に 3 チャンネルを用いることは放送受信の場合にくらべると大きい障害とはならないから、撮像管 3 本を用いるのであれば 3 撮像管同時方式にくらべて点順次方式をとる利点は少ないからほとんど議論の対象にならない。つぎに 1 撮像管式点順次方式の問題点はつぎのようなものである。

(1) 解像度とストライプフィルタ

この問題は位相分離形 1 撮像管同時方式の場合とまったく同様であって、高い解像力を得るためには色分解用ストライプフィルタの製作が極めて困難となる。

(2) 水平偏向の振幅と直線性

この問題も位相分離形 1 撮像管同時方式と同様である。

(3) 色切替の速度

色切替の速度は絵素の交替の速度の 3 倍であって極めて速く、数 MHz ~ 10 数 MHz の程度になる。受像側における色切替をこの速度で行なうことは不可能ではないが困難を伴う。

この方式は 1 撮像管式同時方式と同様の困難がある上に、同時方式の利点もないので、CCTV としては不適といえる。

2.7 線順次方式

色切替を走査線ごとに行なう方法である。^{31) 32)} 1949 年頃に Color Television Inc. (CTI) によって提案されたことがある。2:1 のインターレースが行なわれた場合の走査パターンは図 2.12 のようになり、6 フィールドで 1 画面が完成される。

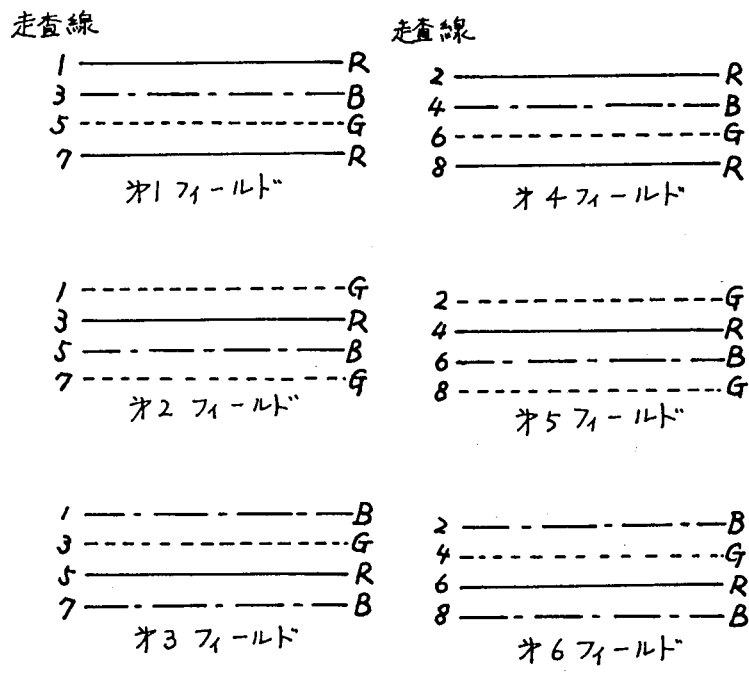


図 2.12 線順次方式の走査パターン

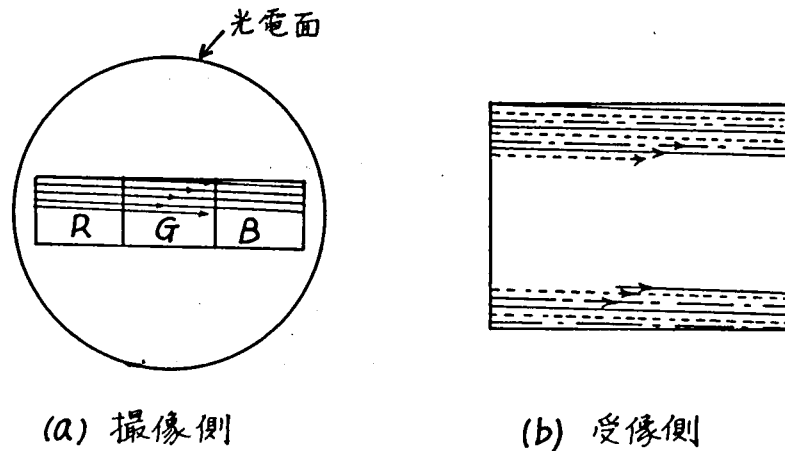


図 2.13 線順次信号の発生方法

このような線順次信号の発生方法として図 2.13 に示すような方法が提案されている。すなわち、1本の撮像管の光電面上に、R、G、Bの三色光像を横方向にならべて投影し、これらの色像に対応する電荷像を図のように電子ビームで走査する。こうすると撮像管における水平走査の $1/3$ の期間ごとにR、G、Bの色信号が得られることになるから、受像側においては撮像側の3倍の周波数で水平偏向し、各水平偏向ごとに色切替をすればよいことになる。この方式の問題点の主なものを挙げればつぎのようになる。

- (1) 撮像管における水平偏向の直線性はきわめて良くなければならない。これは一般的にいて技術的に大変難しい問題である。もし水平偏向の直線性が悪いと像の重ね合わせが得られなくなる。
- (2) 3色像を横方向に並べて投影することは光電面の使用効率上きわめて不利である。
- (3) 後述するフィールド順次方式の場合にくらべると画面全体のフリッカは問題とならないが、線間のフリッカの問題は残る。⁴¹⁾

この方式は上記(1)の問題が大きい実用上の障害である。さらに簡易という点では後述のフィールド順次方式にくらべて中途半端の感を免れない。

2.8 回転フィルタ式フィールド順次方式

フィールド順次方式では色切替を1フィールドごとすなわち1垂直偏向期間ごとに行なう。³³⁾⁻³⁷⁾今かりに2:1のインターレースが行われているとすると、各フィールドにおける走査線の番号とそのフィールドにおける色成分の関係は図 2.14 のようになり、6フィールドで1枚の画面が完成されることになる。

フィールド順次方式の場合は色切替の速度が遅いから、機械的方法を導入することができる。すなわち、図 2.15 に示すような回転フィルタ方式が考えられる。³⁴⁾

被写体から出た光線は、撮像管の光電面上に像を結ぶが、その際光電面の前方におかれたフィルタ板を通過する。このフィルタ板は同図(b)のように、それぞれ赤、緑、青の光の成分を透過するフィルタとこれらを支える枠から成っていて、撮像管における垂直走査と同期して回転する。回転に伴って、赤、緑、青の各フィルタは垂直走査と同期して順次光電面の前方を通過し、これに対応してR、G、

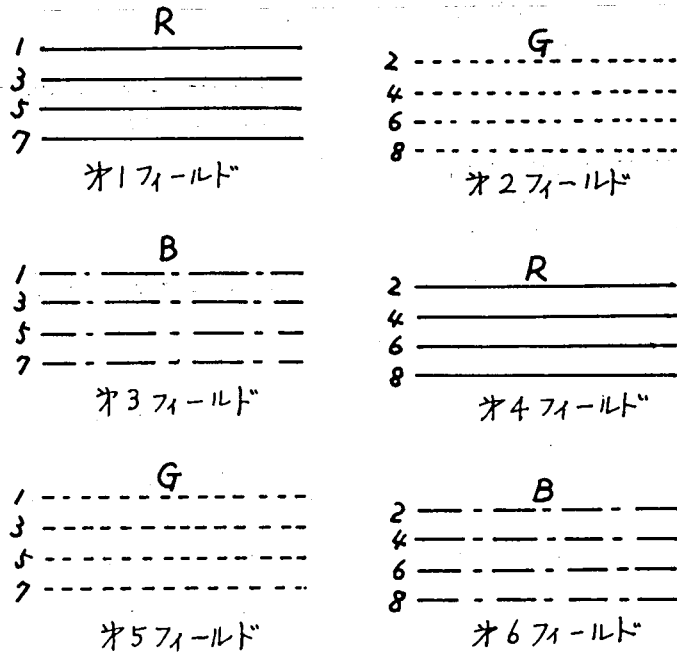
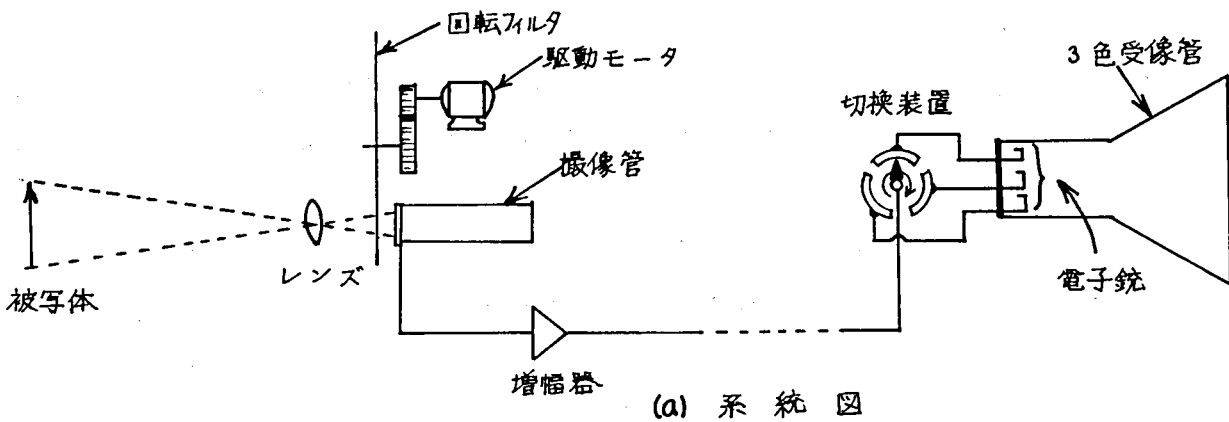
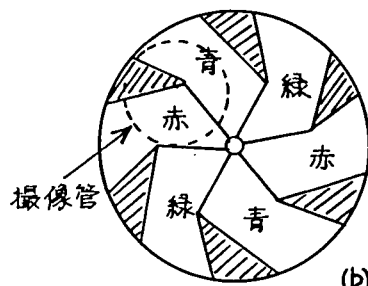


図 2.14 フィールド順次方式の走査パターン



(a) 系統図



(b) 回転フィルタ

図 2.15 回転フィルタ式フィールド順次方式

Bの各信号成分が各フィールド毎に順々に取り出される。

受像側における色切替はやはり機械的方法が可能である。すなわち、白色に発光するブラウン管の前方に、上に説明したのと同様の回転フィルタを置き、垂直走査と同期回転させればよい。事実、フィールド順次方式が考案された当初は、この回転フィルタを使った受像機が実験に供されたのである。しかし、シャドウマスク型をはじめとする各種の3色受像管が一般に普及している現在では、このように受像機に回転フィルタを配置するのが全然得策でないことはいうまでもなく、図2.15のように

電子的方法を以て3色受像管を切り替えて、各フィールド毎にR、G、Bそれぞれの信号に対応する色を発光させるように構成するのが普通である。

つぎにフィールド順次方式の特長を列記すれば次のようになる。

- (1) 順次方式の特長として撮像管は1本ですむ。
- (2) 信号伝送系は1チャンネルでかつ特別の変換のプロセスを要しない。
- (3) 色切替はフィールド毎であるから切替速度は遅く、技術的に極めて容易である。

さらに回転フィルタ方式の場合には次の特長が加わる。

- (4) 光学系は回転フィルタの入ることを除けば特別の制限を受けない。たとえば1撮像管同時方式の光学系のように、空間周波数の高い領域で特にレスポンスの高いことを要求されるといったことがない。
- (5) 3色像は同一撮像管の光電面の同一の位置に投影されるから、撮像系における重ね合わせには問題がない。^(*)

一方フィールド順次方式には次のような欠点ないし問題点がある。

- (1) まずフリッカの問題がある。3原色のうちの1色に着目すると、この色は3フィールドのうち1回しか現われない。したがって毎秒当りフィールド数は相当高くしないとフリッカを感じるようになる。標準テレビ方式は毎秒当りフィールド数は60であるから、これをそのまま適用すると1色当り20フィールド/秒となり、これではフリッカが非常に強く感じられ、実用にならない。フィールド順次方式を実用に供するためにはフィールド周波数は標準より高くしなければならないが、このため、標準方式との両立性は全くなくなる。
- (2) 前にも述べたように、例えば2:1のインターレースを施した場合には6フィールドで1画面が完成する。少なくとも3色が出揃うためには3フィールドを要する。このため、速く動く被写体に対しては、3色の像が画面上のそれぞれ異った位置に現われる、いわゆる“色われ”を生ずる。

さらに回転フィルタ方式の場合には次のようなかなり重大な欠点がある。

- (3) 機械的回転部分があるため、寿命と信頼性の上で難点がある。
- (4) 上記機械的回転と、電気的に行われる走査および受像部における色切替との同期をとるための方策を施さなければならない。この方策は全部のシステムを電気的に構成する場合にくらべると難かしく、往々にして同期の乱れを生じて色相のずれを生じる。
- (5) C C T V では撮像管にビジコンを用いるのが普通であるが、この場合ビジコンの残像が問題になる。ビジコンの残像は前のフィールドにおける情報が次のフィールドにも現われる現象であって、この現象のためにフィールド順次方式の場合には、あるフィールドにおいてたとえば赤の情報をとり出しているときに、その前のフィールドにおける例えば青の情報、さらにその前の緑の情報がそれぞれ一部混入して、色純度が低下すると同時に、色相がずれるという現象が現われる。³⁸⁾ ビジコンの残像は光電面に入射する光量の低いときほど顕著に現われるが、カラーTVの場合には3色分離のために光電面への入射光量は低下するから、上記の効果は一層著しくなる。

上記の効果のうち、色相のずれについては、撮像管の垂直走査すなわち電気的フィールドとフ

(*) 光学系の色収差が無視できる程度であればという条件の下である。

フィルタ円板回転による光学的フィールドとの間の位相関係をずらせることによって補正することができるが、³⁹⁾この場合図 2.16 に示すように色純度はさらに低下する。³⁸⁾また前にも述べたようにビジコンの残像は入射光量によって変化するから、上記のような補正をあらゆる照明条件について完全に行うのは困難である。これらをさらに改善するためには、例えば前のフィールドにおける信号を正しく1フィールド遅延させてから極性反転して次のフィールドにおける信号に加え、残像分を打消すといった方策⁴⁰⁾が必要であってこれには技術的困難を伴う。

以上の考察から次の結論が得られる。すなわち回転フィルタ式フィールド順次方式は基本的には構成が簡単で、経済性からいえば簡易を目的としたCCTVに適しているが、実用上かなり問題になるような欠陥を含んで居り、これを解決するための対策が必要である。

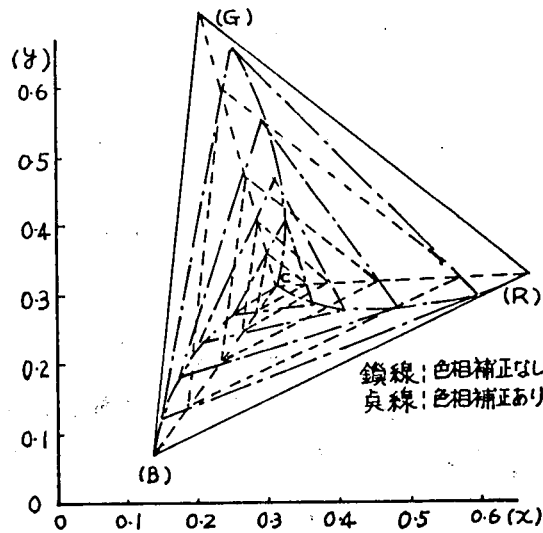
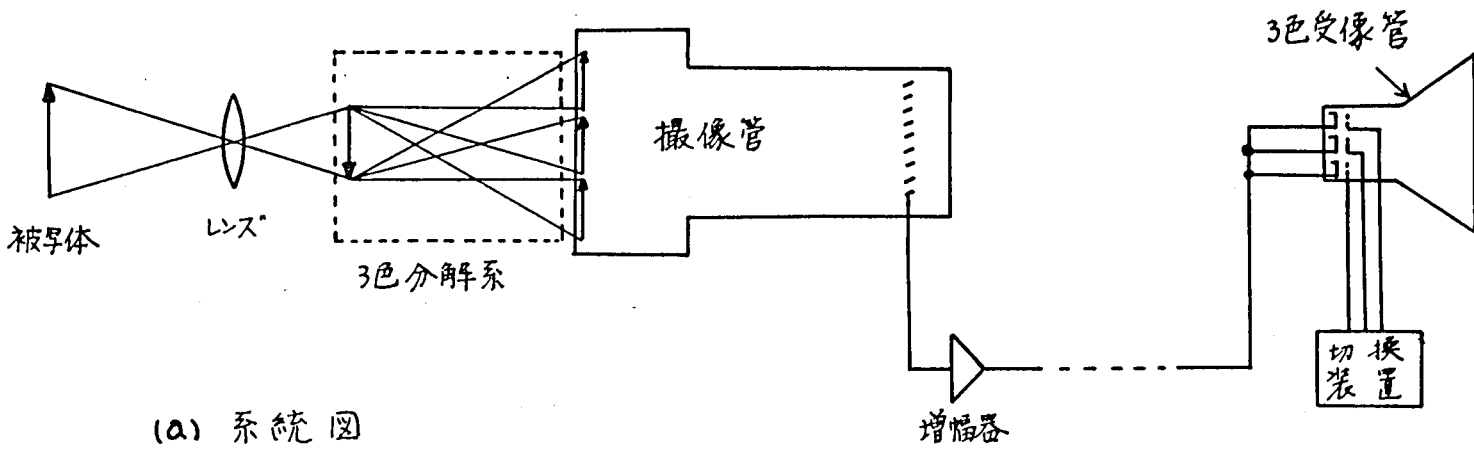


図 2.16 色相ずれ補正による色純度の低下

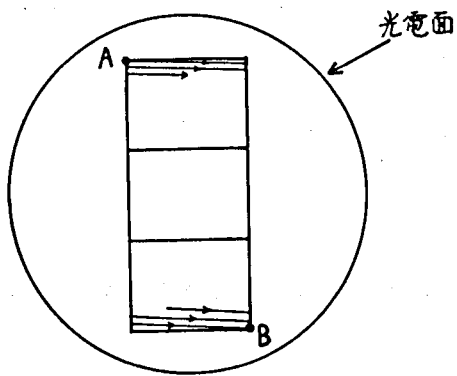
2.9 全電子式フィールド順次方式

2.8節の論議から、カラーCCTVの方式として経済性の面からいえばフィールド順次方式が最も有利であると結論できる。しかし回転フィルタ式フィールド順次方式では2.8節で述べたように色再現性不良と色同期不安定の欠点を免れることができない。これを解決するためには、全電子的な方法でフィールド順次カラーテレビ信号を発生させなければならない。全電子式フィールド順次方式の基本的な方法としては以下に述べるような方法が提案されている。

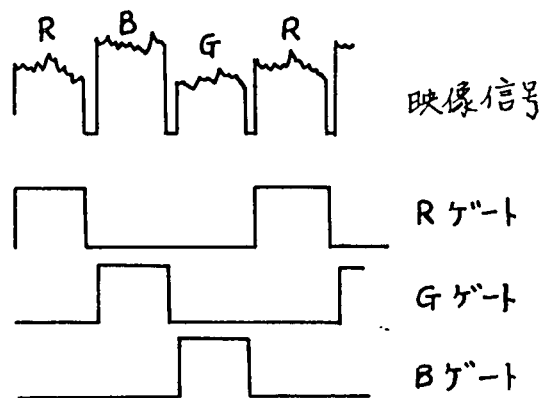
図 2.17 に全電子式フィールド順次方式CCTVの動作原理を示す。⁴²⁾⁻⁴⁵⁾ 図(a)のように被写体は撮影レンズでとらえられ、一人像を結ぶ。この像は3撮像管同時方式の場合のように、3色分解光学系で赤、緑、青の3色像に分解される。ただしこの場合は、1本の撮像管の光電面上に同図(b)のように3色像が縦に並んで投影されるようにする。そして撮像管ターゲット上のこの3色光像に対応する部分(ビジコンの場合はターゲットは光電面自身であるから光像の投影されている部分)を電子ビームでA点からB点まで図のように走査して行く撮像管の1垂直走査期間のうち、最初の1/3の期間はRの信号が取り出され、次の1/3の期間はGの信号が、最後の1/3の期間はBの信号が取り



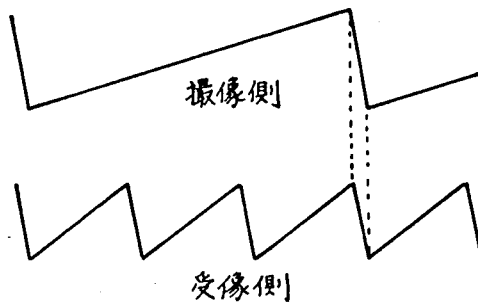
(a) 系統図



(b) 光電面上の3色像



(c) 信号波形



(d) 垂直偏向波形

図 2.17 全電子式フィールド順次方式の原理図

出される。こうして取り出された信号を図 2.17(c)に示すが、図からわかるように、この信号は撮像管における1垂直偏向期間を3フィールドとするフィールド順次の信号である。したがって受像側においては撮像側と同期した水平偏向を行う一方、図 2.17(d)に示すように撮像側の3倍の周波数で垂直偏向を行なう。それと同時に3色受像管の電子銃を切り替えてR、G、Bそれぞれの信号に対応して赤、緑、青が発色するようにする。例えば受像管をシャドウマスク型のものとするれば、図(a)のように受像管の陰極に映像信号を加え、同図(c)のように120°ずつ位相の異ったゲート電圧を各電子銃のオ1グリッドに加えて、それぞれ必要以外の期間はビームがカットオフされるようにし、必要な期間だけゲートを開いてやればよい。このようにして、回転フィルタ式の場合と全く同様に、受像管上で3色像は重なり合って再現され、眼の積分効果により混色されて見える。

次にこの方式の利点を考える。

- (1) 2.8節で述べたようにフィールド順次方式個有の特長を持つ。すなわち撮像管が1本ですむほか、回路も簡単である。
- (2) 回転フィルタ式のような機械的回転部分を有しないので、寿命、信頼性の上ですぐれ、また容積も小となし得る可能性がある。
- (3) 走査、色切替などの操作はすべて電子的に行なわれるから、機械的回転機構を含む場合に比べて色同期は安定である。
- (4) 撮像管の光電面上において、常に定まった位置に定まった光像が投影され、回転フィルタ式の場合のように光電面上の同一位置につぎつぎと異った色像が投影されるということがない。それゆえビジコンのような残像の多い撮像管を使用したとしても、ある色像における残像効果は常に同じ色像の上に現われ、異った色の情報がたがいに混入し合うことがない。したがってこの方式によれば回転フィルタ式の持つ、ビジコンの残像による色相のずれと色純度の低下という欠点を根本的に解決することができ、原理的には3撮像管方式と同程度の色再現性が得られるはずである。

この方式によれば回転フィルタ式の持つ色再現不良と色同期不安定の欠点を逃れることができるが、一方また多くの技術的な問題点があり、そのために今日まで実用化されなかった。これに対して筆者はこの方法を再検討し、問題点を解決して実用化の道を開いたのである。これらの問題点とその解決法について次章以下で詳しく述べて行く。

2.10 まとめ

- (1) 各種撮像方式を比較し、簡易形カラーCCTVにはフィールド順次方式が最適であるという結論に達した。
- (2) 三原色像を撮像管の光電面上に垂直に並べて投影し、この三原色像に対応する電子像を順次走査することにより、フィールド順次のカラーテレビ信号を得ることができる。このように電子的な方法を用いれば、フィールド順次式でも回転フィルタ方式のようにビジコンの残像による色再現性の低下が起らない。

第3章 全電子式フィールド順次方式の基本的 検討事項

3.1 全電子式フィールド順次方式における光学系の問題点

才2章2.9節で述べた動作原理からわかるように、本方式においては1本の撮像管の光電面上に赤、緑、青の3色像を形成させるための三色分解光学系が必要である。この光学系に対する基本的要求事項は次のようである。

- (1) 1本の撮像管の光電面上に3つの色像を結像させなければならない。ということは同一面上に小さい三つの像を近接して結像させなければならないということである。しかもこれら三つの像は寸法および幾何学的歪が同一でなければならず、また三つが正しく垂直に配列して形成されなければならない。さらに普通のCCTVの使用目的から考えて撮像管は取扱い簡便で互換性のある1インチビジコンに限定される。
- (2) 撮影レンズとして広角、望遠など各種市販レンズが交換使用できることが望ましい。なるべくならば16mm映画用のCマウントのレンズの使用可能であることが望まれる。これはCマウントならば廉価なものが入手できるからであって主として経済上の理由からである。
- (3) 少なくとも家庭用カラーTVセット程度、あるいはそれ以上の画質を保障する解像度を必要とする。
- (4) 良好な色再現性を得るような分光特性を持たなければならない。
- (5) この方式を考えた最初の目的からして、構成はできるだけ簡単で、小型、軽量である必要があり、セット全体に対して光学系の費用が不当に大きいことは許されない。

これらの要求はたがいに相容れないところがあるから、その全部を満すことは困難であって、妥協点を見出さなければならない。いずれにしてもこのような光学系はある程度複雑になるか、ある程度性能の上で不満の残るものにならざるを得ないのであって、この点は光学系に対する要求の緩い回転フィルタ式に比して遜色のあるところである。

さらに、横対縦の比が4:3の光像を三つならべて結像させると、3色光像全体合せた横対縦の比は4:9という細長い形になり、これを円形の光電面上に投影すると、短辺側の方で光電面の周辺に余裕ができすぎて使用効率が悪い。これを改善するためには図3.1のように画像を縦方向に圧縮して投影するような方法を光学系に導入することが考えられる。しかし、この方法は光学系を複雑にして簡易化の目的に反するほか、画質もかえって低下させる恐れがある。

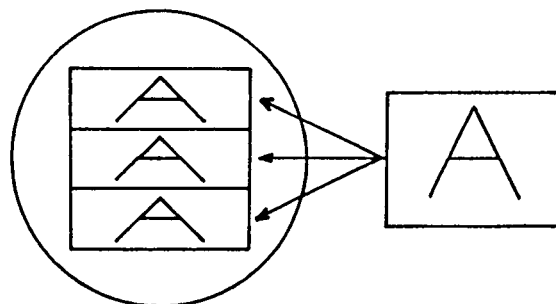


図3.1 光学像の圧縮投影

3.2 全電子式フィールド順次方式における回路系の問題点

3.2.1 同期方式

通常 I T V とよばれているような簡易な C C T V においては、垂直偏向と水平偏向との間に一定の位相関係を持たせないで、それぞれ独立に行なわせる、いわゆるランダム・インターレースの方式がとられるのが普通である。⁴⁶⁾ それは、垂直、水平両偏向を制御して完全なインターレースを行なわせるような同期方式はある程度費用を要するために簡易型 C C T V には適用が困難だからである。ランダム・インターレース方式を採った場合、前のフィールドにおける走査線と後のフィールドにおける走査線が同一位置に重なり合う機会があるために、実際目に見える走査線の数は完全なインターレースを施した場合にくらべてかなり少なく感じられる。フィールド順次方式の場合、3フィールドで3色が全部揃うわけでフリッカを避けるためには毎秒当りのフィールド数を増さねばならず、そのために走査線数は減少することになるから、次項以下に述べるような垂直、水平偏向系に対する検討が必要になる。もっともこの問題はフィールド順次方式に伴う問題で全電子式に固有の問題ではない。

3.2.2 垂直偏向系

標準方式では垂直偏向周波数は 60 Hz、毎秒フレーム数 30、2 : 1 のインターレースを施して毎秒フィールド数 60 としている。これを R、G、B 3 色に割り当てると各色当り毎秒フィールド数は 20 となり、フリッカが問題になる。このためフリッカとフィールド周波数の関係を検討して垂直偏向周波数を決定せねばならない。この決定については後に述べる。

全電子式に固有の問題は、撮像系における垂直偏向の直線性の問題である。すなわち、撮像系における垂直偏向は極めて良好な直線性を以て行なわれなければならない。もし直線性が悪いと赤、緑、青の各光学像に対応する電子像を走査する線数はそれぞれ異なったものになってしまい、受像側で3色像が重ならなくなってしまう。今1色あたり走査線1本分ぐらいの重ね合せのずれは許容できるとすると、有効走査線数は1色あたり約300~400本程度あるから、直線性からの許されるずれは $\frac{1}{300} \sim \frac{1}{400} = 0.3 \sim 0.25\%$ ということになる。これは偏向系の直線性に対する要求としては相当厳しいものである。ただし幸いなことにこのような厳しい要求は垂直偏向系に対するものであって水平偏向系に対するものではない。垂直偏向系の場合は取扱い周波数が低く、電磁偏向方式を採用したとしても偏向コイルのインピーダンスは抵抗性であって偏向電流の制御および微調整は比較的容易であるから、上記要求は実現不可能ではない。それにしてもあまりにクリティカルな調整機構は取扱いの上からいっても、またそれに要する費用にしても実用性がないのであって、実用化のためには調整容易で、かつ實際上差支えない程度の重ね合わせを得る方法を考えるべきである。この問題は後章に述べる方法で解決した。

つぎに帰線消去のために失われる走査線を節約するために、垂直帰線消去期間はできるだけ短かく設定する必要がある。特にフィールド順次方式ではフィールド周波数を高くするために走査線数が制限を受けるから、この点は特に留意しなければならない。さらに図 3.2 に示すように撮像側と受像側とで帰線消去期間は一致していなければならない。帰線消去期間を偏向周期に対する比率で表現するならば、撮像側のそれを受像側の $\frac{1}{3}$ とする必要がある。受像側における垂直偏向の帰線消去期間率をかりに 0.06 とすれば撮像側のそれは 0.02 すなわち 2% としなければならない。この場合帰線消

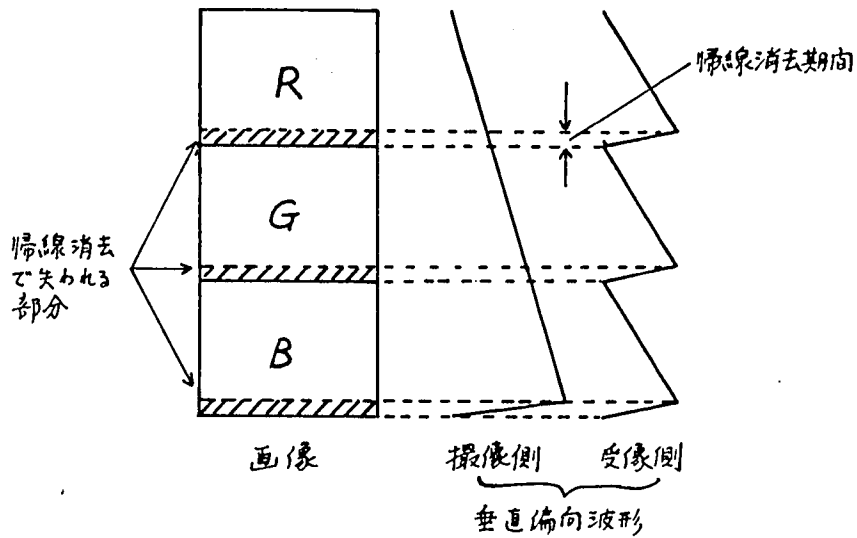


図 3.2 3 色像の配置と垂直偏向波形の関係

去のために失われる走査線数は全走査線数の 6% ということになる。

3.2.3 水平偏向系

フィールド順次カラー TV 方式においては 3 フレームを以て 1 画面が完成するのであるから、もし白黒標準方式と同じだけの毎秒当り画面数と走査線数を確保しようとするれば水平偏向周波数を 3 倍にしなければならないことになる。実際上はこれは困難であって、毎秒当り画面数と走査線数をそれぞれ標準方式より下げることによって水平偏向周波数の増加の程度を軽減するが、それにしてもある程度の周波数の増加は避けられない。この場合起る問題は、映像増幅器に要求される帯域幅の増加、水平偏向増幅器における電力損失の増加、受像管に供給される高圧の低下^(*)などである。

水平偏向系における偏向歪は、それが 3 色像の走査域全体にわたって一様に起る限り、受像面における 3 色像の重ね合わせの上に悪影響を及ぼさない。一般に水平偏向の直線性を厳密に制御することは垂直偏向を制御するのにくらべて多くの技術的困難を伴うのであって、水平偏向歪が厳しく制限されないという点はこの方式の持つ一つの利点である。もちろん明らかに画像の歪みを感じさせるような偏向歪は許されない。

3.2.4 偏向系のその他の問題

偏向系における偏向歪にはこの他に糸巻歪または樽型歪、およびビジコン、イメージオルシコンなど低速度走査型電子管の偏向系において発生するいわゆる S 歪がある。撮像系においてこれらの偏向歪が発生すると図 3.3 に示すように 3 色像各領域における走査範囲に不同を生じ、受像側での 3 色像の重ね合わせが悪くなる。したがって撮像系の偏向歪は極力これを小さくせねばならない。偏向歪の形や程度は集束コイル、偏向コイル、集束電極のそれぞれの形状、寸法、およびこれらを取巻く磁気回路の配置などに支配され、その厳密な解析は困難であって、結局は経験的に最良の条件を求めるほ

(*) 受像管の高圧は水平偏向のフライバック・パルスを昇圧して得るのが普通であるが、周波数が上ったために昇圧トランスの効率が低下するからである。

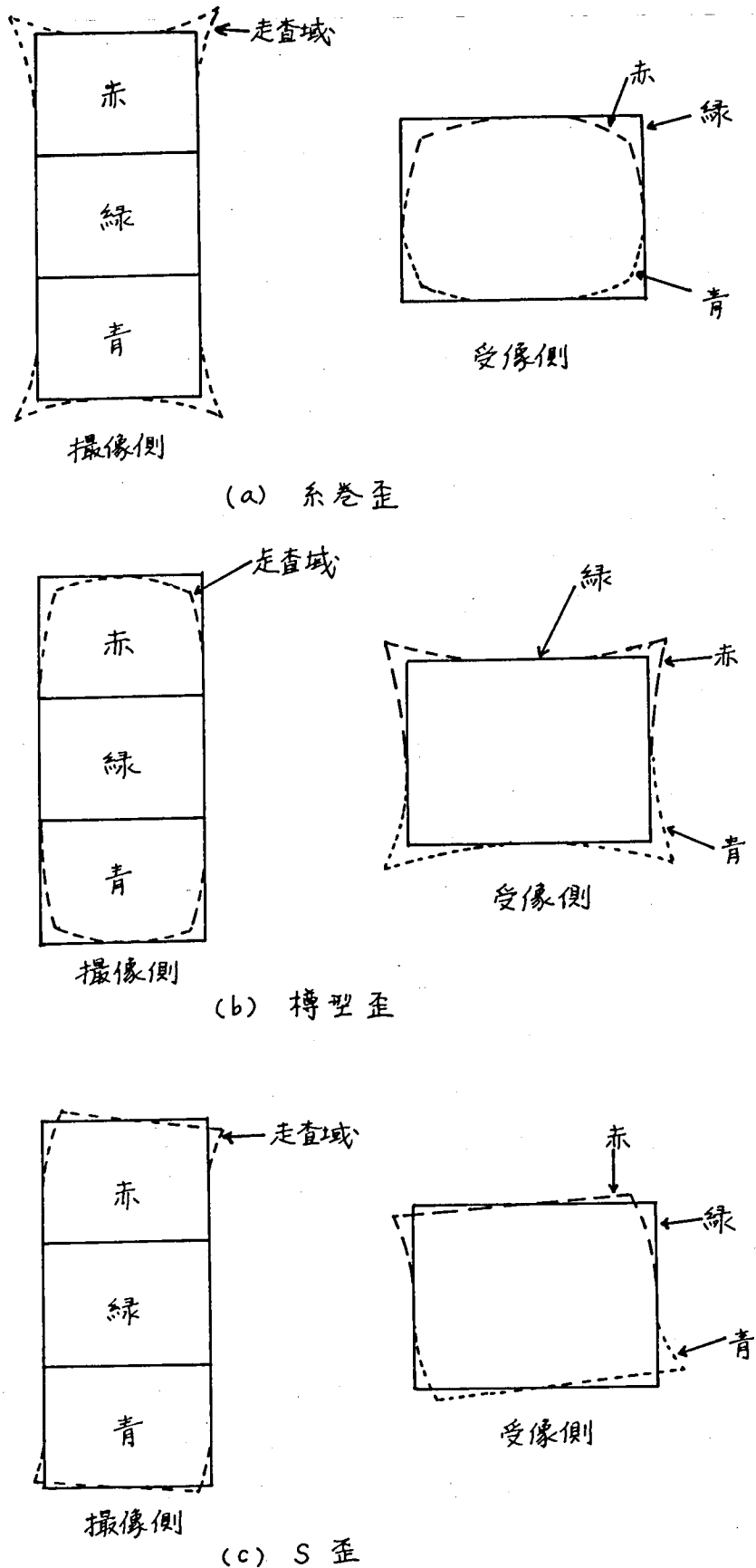


図 3.3 撮像側の偏向歪による受像画面の重ね合わせ不良

かない。なおこれら偏向系の構成は後に述べる撮像管のシェーディングにも影響し、偏向歪最小の条件とシェーディング最小の条件は必ずしも一致しないことがあるから、設計にあたってはこの両方を勘案しなければならない。

3.2.5 映像増幅系

映像増幅系の最大の問題は通過帯域幅を広く設計せねばならないということである。もちろんこれはフィールド順次方式に固有の問題であって全電子式に特有の問題ではない。表3.1はフレーム周波数，水平偏向周波数，公称走査線数と所要帯域幅の関係を示す。但し帯域幅の算出に当っては次の方法によった。

表 3.1 偏向周波数と走査線数，帯域幅の関係

フレーム周波数 (Hz)	水平偏向周波数 (kHz)	公称走査線数 (各色当り)	帰線期間 (%)	帯域幅(I) (MHz)	帯域幅(II) (MHz)
60	24.9	415	22	5.8	6.1
	22.5	375	19	4.6	5.6
	21.3	355	18.5	4.1	5.3
	20.1	335	17.5	3.6	4.9
	17.7	295	15	2.7	4.2
	15.75	268	13.5	2.1	3.6
54	25.11	465	22	6.6	6.4
	22.41	415	19	5.0	5.5
	21.33	395	18.5	4.5	5.2
	20.25	375	18	4.3	4.9
	17.55	320	15	2.9	4.1
	15.768	292	13.5	2.3	3.6
50	25.25	505	22	7.2	6.5
	22.25	445	19.5	5.4	5.5
	21.25	425	18.5	4.8	5.2
	20.25	405	17.5	4.3	4.9
	17.25	345	14.5	2.7	3.8
	15.75	315	13.5	2.5	3.6

帯域幅(I)は，見える走査線数が上表の6%減とし，さらに垂直解像度が走査線数の70%として，これに釣合った水平解像度を得るための帯域幅。

帯域幅(II)は，水平解像度300本を得るための所要帯域幅。

まず帯域幅 (I) すなわち垂直解像度とほぼ等しい水平解像度を得るために必要な帯域幅は次式で算出する。

$$B = \frac{k a}{2} \cdot n^2 \cdot \frac{1-\beta}{1-\alpha} \cdot F \quad (3.1)$$

ここにB：帯域幅

k：解像率 (= 0.70)

a：アスペクト比 ($= \frac{4}{3} = 1.33$)

n : 公称走査線数

α : 水平帰線消去期間率

β : 垂直帰線消去期間率

F : 毎秒フレーム数

被写体の明暗の境界は走査線の境界と一致するとは限らないから、垂直解像度は有効走査線数よりは低くなるが、解像率 k は確率的にこの低下の割合を示す数値であって、 $Fink$ によって 0.70 という値が与えられている。⁴⁷⁾ またアスペクト比 a は普通の TV システムでは 4/3 である。水平、垂直の帰線消去期間率はそれぞれの偏向周期に対する消去期間の時間率である。垂直帰線消去期間率 β は 0.05 ~ 0.08 程度が普通であるがここでは一応 0.06 という値を用いる。一方水平帰線消去期間率 α はこれよりは大きい値になる。これを決めるのは水平帰線時間で、これは水平偏向系のうち偏向コイルと偏向出力変成器（フライバック・トランス）で形成される系の共振周期で定まる。帰線時間を T_f とすると帰線消去期間は少なくともこれ以上であればよいから、水平帰線消去期間率 α の最小値として

$$\alpha = \frac{T_f}{T_h} \quad (3.2)$$

ここで T_h : 水平偏向周期

をとればよい。この計算では T_f としてはカラー TV 受像機における一つの実測値である 8.6×10^{-6} s という値を用いる。

これら k, a, n, α , β などの数値を (3.1) に代入して計算したのが表 3.1 の帯域幅 (I) である。

つぎに帯域幅 (II) は走査線数いかにかわらず 300 TV 本数の水平解像度を得るに必要な帯域幅である。水平解像度 300 本という値は家庭用カラー TV 受像機のそれと同程度ないし若干それを上回る値で、これを一つの目標とする意味から算出したものである。この場合の算式は

$$B = \frac{300}{2(1-\alpha)} \cdot nF \quad (3.3)$$

で与えられる。符号の意味は (3.1) 式と同じである。

3.3 撮像管の問題点

CCTV としての実用性を優先して考えると撮像管としては 1 インチビジコンを使用すべきで、これ以外の撮像管を用いるときは実用性は低くなる。ただしビジコンの選択にあたっては次の事柄を考慮せねばならない。

(1) 解像度

1 インチビジコン光電面における標準の走査寸法は $9.6 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$ である。ところが全電子式の場合には 3 つの像を垂直方向に配列して投影するから、各色像の寸法を上記の値にしたのでは全走査域は $28.5 \text{ mm} \times 12.7 \text{ mm}$ となり、光電面の寸法をこえてしまう。さらに後に述べるような撮像管のシェーディングによる色再現性の劣化をできるだけ避けることを考慮すると、全走査域とそれからお

のずと定まる各色像の大きさは相当小さくならざるを得ない。かりに全走査域を $15\text{mm} \times 6.67\text{mm}$ とすると、光電面上に投影されるべき各色像の寸法すなわち各色像あたりの走査域は $5\text{mm} \times 6.67\text{mm}$ となるが、この寸法は標準の走査寸法の約 $\frac{1}{2}$ である。したがってこの場合のTV本数で表わした撮像管の解像度は標準走査を行なった場合の解像度の約 $\frac{1}{2}$ となってしまうことが予期される。通常の1インチビジコンの解像度は標準走査の場合で約600TV本であるから、これを全電子式の走査方式で使いと解像度約300本になると考えられる。これは限界解像度であるから、光学系のレスポンスを考えれば実際画面で見られる解像度はもう少し低い値になると推測される。このように撮像の段階で解像度の低下があることは、この方式の本質的な欠点である。

これに対する対策としては高解像用として設計されたビジコン、あるいは $1\frac{1}{2}$ インチビジコンを使用することが考えられる。ただし光学系の解像特性が問題で、光学系に低い解像力しか期待できないとすれば、こういった普及性の低いビジコンを使用するのは経済性の点からいって得策ではない。

(2) 感度

カラーTVにおいては光学系における光量損失が著しいから、撮像管は高感度のものでなければならない。市販の1インチビジコンの中で比較的高感度のもは7735Aである。連続蒸着法で光電面を製作したビジコンはさらに高感度であるので使用を考慮する価値がある。

(3) 残像

残像についての制限は白黒TVあるいは回転フィルタ式カラーTV以外のカラーTV方式の場合と同じと考えてよく、特に厳しい条件はない。

(4) シェーディング

撮像管から得られる光電流は必ずしも走査域全域にわたって均一でなく、部分的に光電感度の不均一を生ずることがある。光電感度の不均一が比較的広い面積にわたってなだらかな傾斜を以て起るのがシェーディングであって、これは光電面そのものの不均一、あるいは電子ビームの持つエネルギーのうち走査面に垂直な成分が偏向位置によって変るなどの原因によって起る。シェーディングのうちもっとも一般的なのは図3.4に示すように周辺部の光電流が中心部に比べて落ち込む、いわゆるパラボラ・シェーディングである。

白黒TVの場合、シェーディングは受像面上では単なる明るさの不均一として受け取られるだけであるが、本方式の場合はシェーディングによって部分的な色相のずれを生じ、致命的な欠点となり得るので特に注意を要する。すなわち図3.5に示すように、たとえば通常のパラボラ・シェーディングすなわ



図 3.4 パラボラ・シェーディングのある場合の映像信号波形

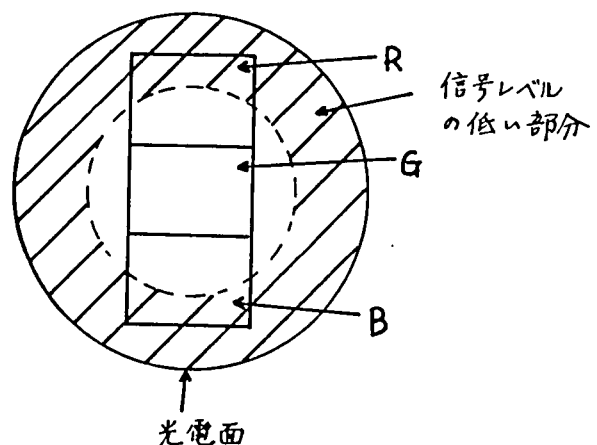


図 3.5 シェーディングによる色信号不均衡の発生

ち光電面の周辺部で信号レベルの低下するようなシェーディングが発生していたとすると、赤の上部と青の下部における信号レベルが低下し、これを受像面上で重ねたときに、画面上半は赤の不足したシアンがかかった画となり、画面下半は青が不足して黄味がかかった画となる。

シェーディングはすでに述べたように光電面の不均一のほか、ビームの走査状態の不均一によっても起るから、これに対する対策として撮像管を十分吟味するほか、偏向コイルアセンブリの選択にも意を用いねばならない。そして多少のシェーディングは不可避であるから、色相のずれが部分的に認められるときは、回路的にこれを補正する手段を講じなければならない。

(5) キズその他

光電面の不均一のうち、ごく狭い範囲に限局されたものがキズである。キズは光電面のキズあるいは光電面上のホコリなどによって起る。本方式の場合、2～4撮像管式カラーTV方式の場合と同様、キズは受像画面上で色のついた点として現われる。さらに本方式の場合は1画像あたりの走査域が標準の走査域に比べて小さいから、同一の大きさのキズは受像面上では逆に標準の場合にくらべて大きく現われる。したがって極力キズ、特に大きいキズの少ない撮像管を選択使用する必要がある。

3.4 受像管の問題点

フィールド順次方式においては各原色は3フィールドに1度の割合でしか表示されないから、同時に3原色が表示される同時方式にくらべて時間平均の輝度は約 $\frac{1}{3}$ にしかならない。これは順次方式の持つ根本的な欠点であって、これを救う方法は受像面の輝度ををもともと上げておく以外ない。残念なことに現存のシャドウマスク型カラー受像管の蛍光面の輝度は同時方式の場合においてさえ白黒受像管のそれにくらべて低いのである。シャドウマスク型受像管の輝度が低い主たる原因はシャドウマスクの透過率が低いことであって、このためにビームの損失が起るからである。輝度向上の対策としては受像管の改善を待つ以外方法がないことになる。

3.5 走査線数、映像信号帯域幅と偏向周波数の決定

3.5.1 走査線数と映像信号帯域幅

表3.1に示したように走査線数、垂直偏向周波数、水平偏向周波数および映像信号増幅系に必要な帯域幅はすべてたがいに関連する。これらの数値をきめるには、ある程度見当をつけてある変数におよその値を与え、これによってきまる他の変数の値が実用上不都合でないかどうかをチェックし、不都合な値が出て来た場合には改めて最初に与えた数値を修正するという方法をとらなければならない。そこでまず走査線数と映像信号帯域幅におよその数値を与えることにした。

まず有効走査線数として各色当り300本という数値を与えた。これは画面の対角線寸法の約7倍の視距離で画を見たとき走査線が識別できなくなる程度の値である。^(*) この値は走査線数としてはやや少ないが、他の変数との関連を検討した結果、一応妥当な値であるという結論が出た。

(*) インターレース方式をとる場合はベアリングが全くなく、インターレースが完全であることを仮定している。

つぎに映像信号帯域幅について考えた。市販のカラーテレビ受像機の映像増幅器の帯域幅は3.5MHz程度である。これを改造すれば5MHz程度に広げることができる。一方、通常のCCTVの映像増幅系の帯域幅はやはり5MHz程度に設計されるのが普通である。これをさらに広げて8MHz程度にまですることが技術的には可能であるが、経済的に見ると得策ではない。そこで映像信号帯域幅は一応5MHzときめた。

以上の数値をもとにして偏向周波数を次節以下に述べるように決定した。

3.5.2 垂直偏向周波数

垂直偏向周波数はできるだけ小さくするのが伝送帯域節約の上で望ましいが、これが小さいと画面にフリッカが感じられるようになるから、その下限はこのフリッカが許容できるか否かできまる。フリッカの感覚は受像管発光面の輝度、蛍光体の残光特性、発光面が眼に対して張る立体角などによっても支配される。そして発光面の輝度の高いほど、また蛍光体の残光時間の短いほど感じられやすいことが知られている。カラーTVの場合は白黒TVにくらべて受像管発光面の輝度が低く、かつ蛍光体の残光時間も長いのが普通であるから、フリッカを感じる臨界周波数は白黒の場合より低いはずである。これを実際に確めて垂直偏向周波数を決定するためのフリッカの主観評価実験を行なった。

(1) 実験方法

実験装置としては市販の17型のカラーTVセットを用い、これの垂直偏向周波数のみを可変とするように改造した。簡単のため水平偏向周波数は15750Hz一定とした。このため垂直偏向周波数の変化とともに走査線数も変るが、走査線間隔に対する視角はいずれにせよ極めて小さいので、少なくとも大面積のフリッカに関する限り、いちじるしく実験の正確さを欠くとは考えられない。

有効走査線数を各色あたり約300本とすると相隣る2点の識別限界は視角にして約1'であるから、⁴⁸⁾走査線構造が目につかなくなるためには300本の走査線の画面の縦方向が眼に対して張る角度 θ が、

$$\tan \theta \leq 300 \times \tan 1' = 0.08727$$

を満足することが必要である。画面の縦の寸法をHで表わせば上記関係を満足するための視距離Lは

$$L \geq \frac{H}{0.08727} \doteq 11.5H$$

となる。

いま、実験室の関係で視距離 $L = 1.9\text{ m}$ 程度しかとれない。 $L = 1.9\text{ m}$ とすると上記より $H \leq 0.165\text{ m}$ となる。そこでこれを実現するために、ブラウン管発光面の前面に縦0.165m、横0.22mの穴を開けた灰色の布をおいて、この穴で画面の大きさを制限した。なおこの場合画面の対角線寸法Dに対するLの比は $L \doteq 7D$ となり、画面の対角線が眼に対して張る角度は約 $8^\circ 20'$ である。

被験者として男子5人、女子2人を選んだ。男子5人のうち4人はTV技術関係の日常業務従事者、1人はTV技術の経験はないが主観評価実験の企画経験者、女子2人は特別の技術経験を持たないものである。なお女子2名のうち1名は近視を眼鏡で矯正している。以上7人を図3.6のように配置した。

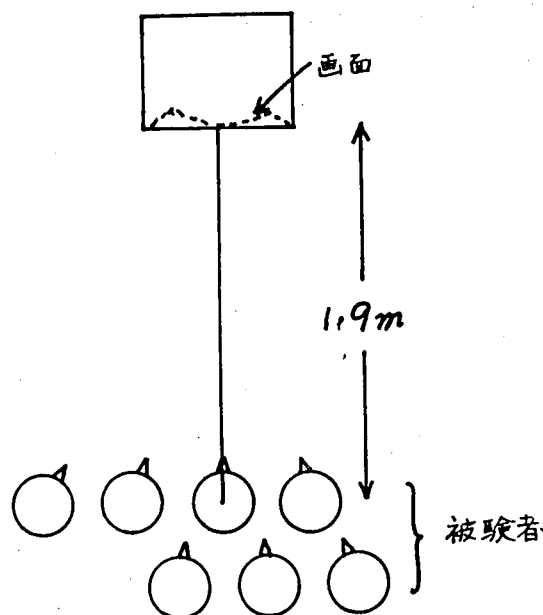


図 3.6 被験者の配置

照明条件としては天井に配置した蛍光灯による一般照明下（目の高さにおける水平面照度約 150 lx），および暗黒下の 2 種類をとった。

実験に使用したブラウン管は 17 インチ角形の 430AB22 という名称のものである。このブラウン管の蛍光体は

赤： $Zn_3(PO_4)_2 : Mn$

緑： $Zn_2SiO_4 : Mn$

青： $ZnS : Ag$

である。フィールド順次方式においてもっともフリッカが目立つのは，R，G，B 3 原色が単独で画面の中の大面積を占めて現われる場合であって，わけても輝度の高い緑の場合にいちじるしい。そこでわれわれのフリッカの実験は緑について行なうこととした。このためにまず赤，緑，青 3 色をバランスさせて白色を作り，ブルーミングを起さない程度まで輝度を上げて白色のハイライトをきめ，この状態で赤と青の電子銃をカットオフにして緑のみを発光させた。そしてこれを被験者に見せてフリッカの有無を判定させた。上記の状態に調整したとき，緑の蛍光面の輝度は 7.2 cd/m^2 であった。ただし輝度の測定は Photo Research Corp. 製の "Spectra" Brightness Spot Meter UB 1 $\frac{1}{2}$ 型によった。輝度は全実験を通じて一定に保った。このために実験パラメータ変更の都度光電池をブラウン管の蛍光面に密着させて，光電流が一定の値を示すように輝度を調整した。

このようにして垂直偏向周波数を 20Hz，24Hz，27Hz，30Hz，33Hz，36Hz，40Hz，45Hz，50Hz の 9 通りに変えて，それぞれの場合について被験者に画面を見せ，

- ◎ ほとんどちらつきを感じない。
- わずかにちらつきを感じるが，ほとんど気にならない。
- △ ちらつきは感じられるが，不愉快というほどではなく，我慢できる。
- × ちらつき多く気になる。
- ×× 不愉快。

という5段階の答のうちから一つを選ばせた。被験者がどうしても判別に迷ったときは×△のように2つの答を並列して書かせ、この場合は×, △いずれも頻度0.5として計算した。画面を見せる時間は5秒間とし、垂直偏向周波数の変った次の画面を見せるまでの間に30秒の休みをおいた。垂直偏向周波数の変更順序はランダムにすることが実験装置の構成上困難であったので、順次変更することとし、20 Hz から50 Hz まで上げていった場合と逆に50 Hz から20 Hz まで下げていった場合についてフリッカ知覚の臨界周波数に差異があるかどうかをしらべることにした。そして前述のようにこれらをそれぞれ2つの照明条件下において行なった。偏向周波数変更方向の交替および照明条件変更の際、それぞれ5分間の休憩をおいた。

(2) 実験結果

このようにして求めた垂直偏向周波数（毎秒フィールド数）とフリッカ感覚に関する答の頻度の関係を表3.2に示す。これからつぎのような考察ができる。まず前項で述べた◎から××に至る評価に対して◎5, ○4, △3, ×2, ××1という評価点Eを与える。そしてそれぞれの周波数の場合に

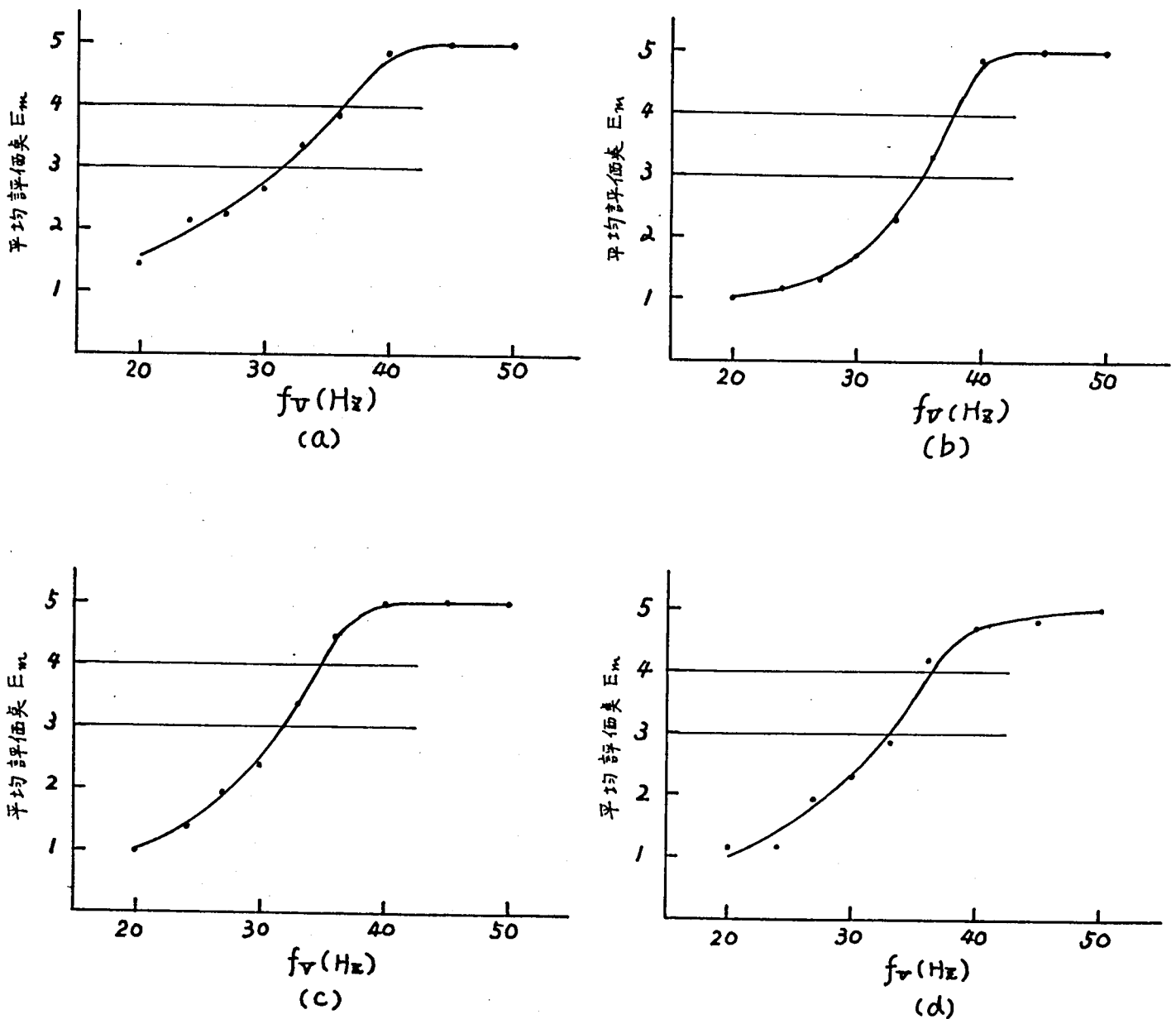


図 3.7 毎秒フィールド数に対する平均フリッカ感覚評価点

表 3.2 毎秒フィールド数に対するフリッカ感覚評価の頻度

E : 評価点 ◎ 5 ○ 4 △ 3 × 2 ×× 1
 F : 頻度
 n : 被験者数 = 7
 fv : 毎秒フィールド数 (Hz)

$f_v \backslash E$	1	2	3	4	5	$\Sigma (E \cdot F)$	$E_m = \frac{\Sigma (E \cdot F)}{n}$
20	4	3				10	1.43
24	1	4	2			15	2.14
27	1.5	2.5	3			15.5	2.22
30	1	1.5	3.5	1		18.5	2.64
33		1	2.5	3.5		23.5	3.36
36			1	6		27	3.86
40				1	6	34	4.86
45					7	35	5.00
50					7	35	5.00

(a) 蛍光灯照明下で周波数を上げていった場合

$f_v \backslash E$	1	2	3	4	5	$\Sigma (E \cdot F)$	$E_m = \frac{\Sigma (E \cdot F)}{n}$
20	7					7	1.00
24	6	1				8	1.14
27	5	2				9	1.29
30	2	5				12	1.71
33		5	2			16	2.28
36		0.5	4	2.5		23	3.28
40				1	6	34	4.86
45					7	35	5.00
50					7	35	5.00

(b) 蛍光灯照明下で周波数を下げていった場合

$f_v \backslash E$	1	2	3	4	5	$\Sigma (E \cdot F)$	$E_m = \frac{\Sigma (E \cdot F)}{n}$
20	7					7	1.00
24	4.5	2.5				9.5	1.36
27	2.5	3.5		1		13.5	1.93
30	1	3.5	1.5	1		16.5	2.36
33		1	3.5	1.5	1	23.5	3.36
36			1	2	4	31	4.43
40					7	35	5.00
45					7	35	5.00
50					7	35	5.00

(c) 暗黒下で周波数を上げていった場合

$f_v \backslash E$	1	2	3	4	5	$\Sigma (E \cdot F)$	$E_m = \frac{\Sigma (E \cdot F)}{n}$
20	6	1				8	1.14
24	6	1				8	1.14
27	1.5	4.5	1			13.5	1.93
30		6	1			16	2.28
33		3	2	2		20	2.86
36			2.5	1.5	3	28.5	4.17
40				2	5	33	4.70
45				1.5	5.5	33.5	4.78
50					7	35	5.00

(d) 暗黒下で周波数を下げていった場合

おける評価の頻度 F と被験者数 n ($= 7$) から評価点の平均値 $E_m = \frac{\sum (E \cdot F)}{n}$ を求め、これを垂直偏向周波数 f_v に対してプロットすれば図 3.7 のようになる。評価の内容からフリッカの検知限は評価点 $E = 4$, 許容限は $E = 3$ と見ることができるから図 3.7 で $E_m = 4$ および $E_m = 3$ が曲線をよぎる点を求めれば、

(a) : 蛍光灯照明下で周波数を上げていった場合 ; 検知限 3 6.5 Hz , 許容限 3 1.5 Hz

(b) : 蛍光灯照明下で周波数を下げていった場合 ; 検知限 3 8 Hz , 許容限 3 5 Hz

(c) : 暗黒下で周波数を上げていった場合 ; 検知限 3 5 Hz , 許容限 3 2 Hz

(d) : 暗黒下で周波数を下げていった場合 ; 検知限 3 6 Hz , 許容限 3 3 Hz

となる。(a), (c), (d)と(b)との間には検知限, 許容限とも差が認められる。この差が有意であるかどうかを確かめたいが、この場合、検知限, 許容限は間接的に求めたものであるから正しい検定はできない。そこで便宜的に次のような方法をとった。すなわち、検知限, 許容限付近の 3 3 Hz, 3 6 Hz のときの評価点の平均値 E_m をとり、(a)と(b), (b)と(d)というように実験条件の異なった二つの場合について E_m のあいだに有意差があるかどうかを検定した。これには平均値 E_m および実際の評価点 E とその頻度 F を用いて、スチューデントの t 分布を適用する。⁴⁹⁾ ただしこの場合、評価点は 1, 2, 3, 4, 5 と離散的であって、これらの値に落ちる確率が正規分布的であるという保証がないから、正確さを欠くことは止むを得ない。

さてこのようにして検定すると、(a)の場合における 3 3 Hz の評価点平均値 3.3 6 と(b)の場合における同じく 3 3 Hz の評価点平均値 2.2 8 の間には明らかな有意差が認められる。同様に(a)の場合における 3 6 Hz の 3.8 6 と(b)の場合における 3 6 Hz の 3.2 8 の間にも危険率 5 % で有意差が認められる。(b)の場合と(c)の場合との間にも同様の有意差が認められる。その他の組み合わせについては 5 % の危険率で有意差は認められない。(b)の場合にきわ立って認められるこの差が真に実験条件のちがいに由来のものであるか、実験誤差によるものであるかは判然とせず、これについてはさらに詳しい研究を必要とするが、われわれの目的は技術的経済的に適当な垂直偏向周波数を決定することであるので、ここではこれ以上の追及を避けた。

上の結果から、最悪の条件(b)の下で検知限 3 8 Hz, 許容限 3 5 Hz である。C C T V の場合には偏向周波数は任意に選定できるわけであるが、ほかにも考慮すべき事柄がある。その一つは電源周波数の問題である。映像増幅系および偏向系に若干のハム誘導があると垂直偏向周波数と電源周波数とのビートによる障害があらわれ、このためのフリッカ、あるいは画面のゆらぎを生ずることがある。これを避けるために C C T V においては垂直偏向を電源周波数に同期させる、いわゆる電源同期の方法がとられることが多い。こうするとビート障害は画面上に固定されてしまって識別されなくなるのである。このように電源同期の可能性を考えると、垂直偏向周波数と電源周波数は簡単な分数関係にあることが望ましい。いま上記の検知限をこえたところで各色あたりの毎秒フィールド数を 4 0 Hz にえらぶと 3 色を含めた毎秒フィールド数すなわち受像機における垂直偏向周波数は 1 2 0 Hz となり、これは関西地区における電源周波数 6 0 Hz の 2 倍である。電源周波数の 2 倍の周波数を作ることは両波整流などにより容易にできるから、上記の場合電源同期も簡単である。同様に 5 0 Hz 地域では毎秒フィールド数を 1 0 0 Hz に選定できるが、この場合は各色あたりにすると 3 3.3 Hz となり、前記の実験から許容限ぎりぎりとなる。

以上の実験は燐酸亜鉛，珪酸亜鉛，硫化亜鉛系の蛍光体を用いたブラウン管430AB22について行なったものである。後に全硫化物系の蛍光体を用いたブラウン管430CB22についてしらべた結果は，輝度の向上，残光時間の短縮の効果により許容限が約40Hzとなった。

これらをまとめて考えると，毎秒フィールド数は各色あたり40Hz，3色あたりで120Hzと定めるのが妥当と考えられる。垂直偏向周波数は撮像側40Hz，受像側120Hzとなる。この場合電源周波数が50Hzの地域では電源非同期とせざるを得ないから，ハム誘導には細心の注意を払わなければならない。60Hz地帯では電源同期方式がとれる。

3.5.3 水平偏向周波数

水平偏向周波数が低いと走査線数が少なくなって画質が悪くなる。走査線数を多くするために水平偏向周波数を高くすると映像信号伝送系の所要帯域幅が広がる。また水平偏向については，帰線時間は偏向回路の出力変成器（受像機にあってはフライバック・トランスとよばれる）のインダクタンスと分布容量とでなる共振の周期で定まり，偏向周波数のいかにかわらず一定である。したがって偏向周波数が高くなるほど，一走査期間の中で占める帰線時間の時間的割合が大きくなり，このむだ時間のために信号伝送系の所要帯域幅はますます広がる傾向を持つことになる。さらに設計が適当に行なわれないと水平偏向出力回路の能率が低下して，水平偏向出力管の陽極損失の増大，偏向振幅の減少，フライバック・トランスから得る受像管用高圧の低下などをまねく。水平偏向周波数はこれらを考慮して決定しなければならない。

本研究の場合は実験用モータとして市販の受像機を改造して使うことを計画したため，水平偏向周波数の上限はもっぱらこの受像機の性能によって支配されることになった。そこで実験機として日立製カラーTV受像機CS-160を用い，この水平偏向回路の特性を実測した。まずフライバック・トランスの帰線パルス幅をシンクロスコープで実測すると，これは $8.6\mu\text{s}$ であった。これは水平走査周期の標準の値 $\frac{1}{15750} = 63.5\mu\text{s}$ に対して13.5%に相当する。つぎに水平偏向周波数を高くして行くと約21kHzでフライバック・トランスから得られる高圧の値が17kVを下廻った。17型のカラー受像管の高圧は少なくとも17kV必要であるから，この点から考えると水平偏向周波数の上限は約21kHzとなる。さらにシャント・レギュレータ管が動作して電圧変動を吸収できるためにはこれよりも若干周波数は低く選ばなければならない。表8.1を参照するとフレーム周波数60Hz，水平偏向周波数20.1kHzのとき，約300TV本数の水平解像度を得るに必要な帯域幅は約5MHzである。これは最初にきめた値と一致し，帯域幅の点から考えると水平偏向周波数は20kHz附近に選ぶのが適当ということになる。

以上のような実験および考察から，筆者の実験システムでは垂直偏向周波数撮像側40Hz，受像側120Hz，水平偏向周波数20.1kHz，走査線数各色あたり335本という値をとることに決定した。

上記の数値はしかし絶対的なものではない。第一に $(\text{YVO}_4:\text{Eu}, \text{ZnCdS}:\text{Ag}, \text{ZnS}:\text{Ag})$ 系や $(\text{Y}_2\text{O}_3:\text{Eu}, \text{ZnCdS}:\text{Ag}, \text{ZnS}:\text{Ag})$ 系などの新しい蛍光体材料を用いた受像管を使用するときは輝度の向上のために毎秒フィールド数各色あたり40Hzという値は低すぎる可能性があることと，第二には本研究にあたっては市販受像機を改造使用したために，水平偏向周波数の上限が主にこの受像機的设计帯域幅ならびにフライバック・トランスの特性によって定められてしまったが，これらは高

水平偏向周波数用として特に設計することによって、さらに水平偏向周波数を向上させることができる可能性があるからである。

3.6 まとめ

(1) 全電子式フィールド順次方式の問題点を光学系，回路系，撮像管，受像管の項目にわけて検討した。そしてこの方式の実用化のためには簡易でしかも十分な画質の得られるような三色分解光学系を考案すること，偏向歪を厳密に小さくすることなどが重要な検討事項であることを明らかにした。

(2) 走査線数一色あたり 335 本，映像信号帯域幅 5MHz，垂直偏向周波数各色あたり 40Hz，水平偏向周波数 20.1 kHz と定めるのが実用上妥当であると結論した。

第4章 全電子式フィールド順次方式の光学系

4.1 三色分解光学系の構成

本方式で使用するための三色分解光学系に対する基本的な要求事項は第3章3.1節で述べた通りである。このような要求はすでに述べたように互いに相容れないところがあって、ある程度の妥協が必要であるが、できるだけ多くの要求を満すような光学系を設計せねばならないことはもちろんである。これらの要求のうち、もっとも基本的な事柄は、約1インチの口径の光電面上に3つの像を投影倍率を同じくしてならべて結像させるということであって、この立場からまずいろいろの光学系の構成を考案した。ついでこれらの光学系の利害得失を検討し、最終的にはトライアッド式と名付けた3レンズからなる光学系を採用した。本節ではこれらの光学系の構成とそれらの得失の検討結果について述べる。

4.1.1 ダイクロイックミラー式とダイクロイックプリズム式

まず3撮像管式カラーカメラに用いられる光学系はこの種三色分解光学系の基本であるから、これをもとにして手を加えていくことを考えた。普通の三色分解光学系の基本的構成は図4.1に示す通りである。⁵⁰⁾被写体Oの像は、撮影レンズLによってフィールドレンズFの前側主点面に結像せしめら

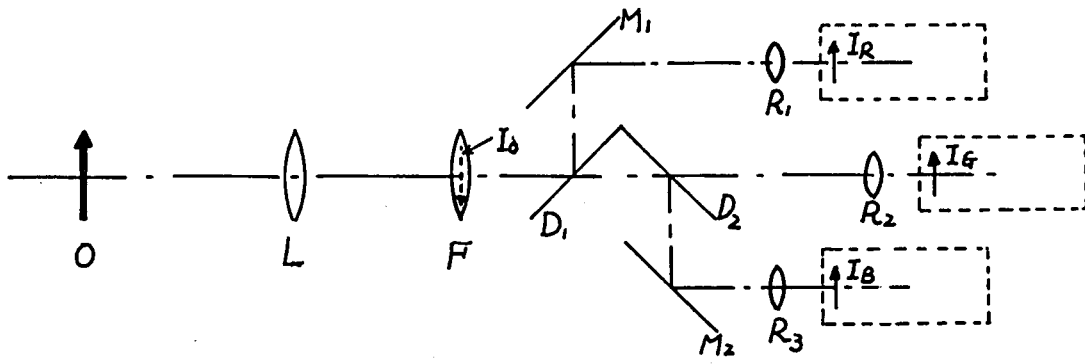


図4.1 ダイクロイックミラーを用いた3Vカメラ用光学系

れる。この像はFの後側主点面に倍率1で結像する。(図ではフィールドレンズを薄いレンズとして前後の主点面を一致させてある)。Fの後側主点面に結んだ像I₀から出る光線は、まず赤反射ダイクロイックミラーD₁によってその赤成分のみが反射され、^(*)この赤成分の光線はさらに反射鏡M₁によって反射され、リレーレンズR₁によってI_Rの位置に結像する。緑成分および青成分はD₁を透過する。D₁を透過した光線のうち青成分は青反射ダイクロイックミラーD₂によって反射され、反射鏡M₂、リレーレンズR₃をへてI_Bに結像する。最後に緑成分はD₁およびD₂を透過した後、リレーレンズR₂によってI_Gに結像する。I_R、I_G、I_Bの位置にそれぞれ撮像管の光電面を配置する。

(*) 白熱電球で照明することを考えると短波長成分が弱くなるから、なるべくこの領域での光の損失を少なくするために青反射ダイクロイックミラーを最前方に配置するのが有利である。ここでは説明の都合上、D₁を赤反射ミラーとした。

なおダイクロイックミラーのかわりに図4.2のようなダイクロイックプリズムを用いた光学系もある。⁵¹⁾ダイクロイックミラーがガラス基板表面に反射面を設けてあるのに対し、ダイクロイックプリズムはプリズムの接合面に誘電体を蒸着してなる反射面を設けたものである。いずれにしても分光の方法に対する考え方は同じであるので同じ範疇に入れて考えることができる。

つぎに上に述べた方法をわれわれの方式に適用することを考える。 I_R, I_G, I_B を同一平面上の近接した位置に結像させるためには、図4.3のように赤成分と青成分の光線をそれぞれ反射鏡 M_3, M_5 、および M_4, M_6 で折曲げて I_R と I_B を I_G の近傍に持ってくればよい。図より明らかにわかるように、赤成分、青成分と緑成分とでは光路長が異なるから、リレーレンズ R_1, R_3 と R_2 とは焦点距離を異にして、 I_R, I_G, I_B が同一平面上に同倍率で投影されるように設計しなければならない。

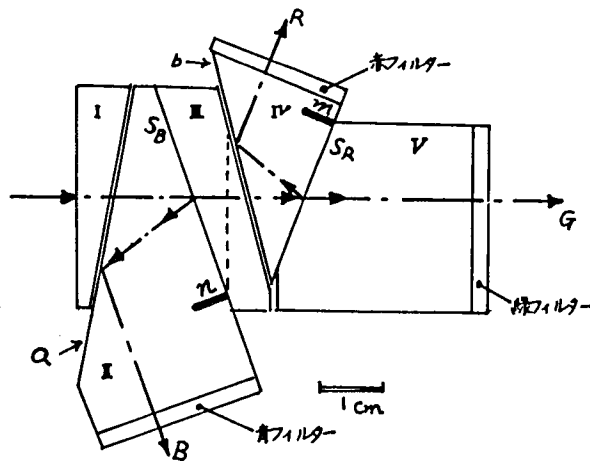


図4.2 ダイクロイックプリズムの例
(3プランビコンカメラの光学系)

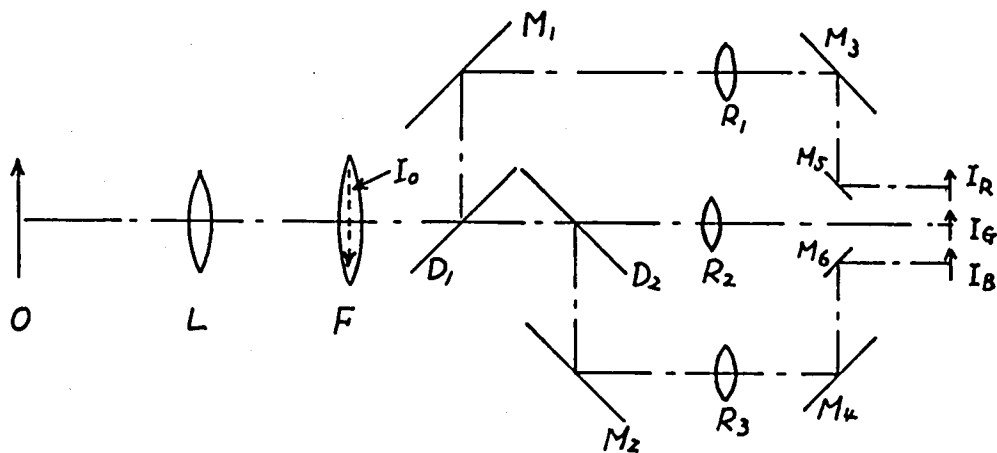


図4.3 3色像をたがい近接させるためのダイクロイックミラー式光学系の配置

この方法によれば、分光特性に関しては標準3撮像管式用光学系と同等のものが得られる。また設計を厳密に行なえば、画質に関しても、少なくとも産業目的のCCTV用として考えれば十分なものが得られると考えられる。しかしながら一方において、構造が複雑かつ大型となること、反射面が多いため光量の損失をまぬがれないこと、ことに M_5, M_6 の工作および配置によっては最終の投影像

にケラレを生ずる可能性があることなどの欠点がある。

4.1.2 3反射鏡式

図4.4のように、第1像 I_0 から出た光線がたがいに角度を異にする3つの反射鏡 M_1, M_2, M_3 によって反射され、それぞれリレーレンズ R を介して I_R, I_G, I_B に再結像するような構成を考えることができる。この場合三色分解の機能をどこに持たせるかが問題となるが、一つの方法としては反射鏡の表面に波長選択性の膜をコーティングする方法、たとえば誘電体層を蒸着して干渉によって波長選択性を持たせる方法が考えられる。

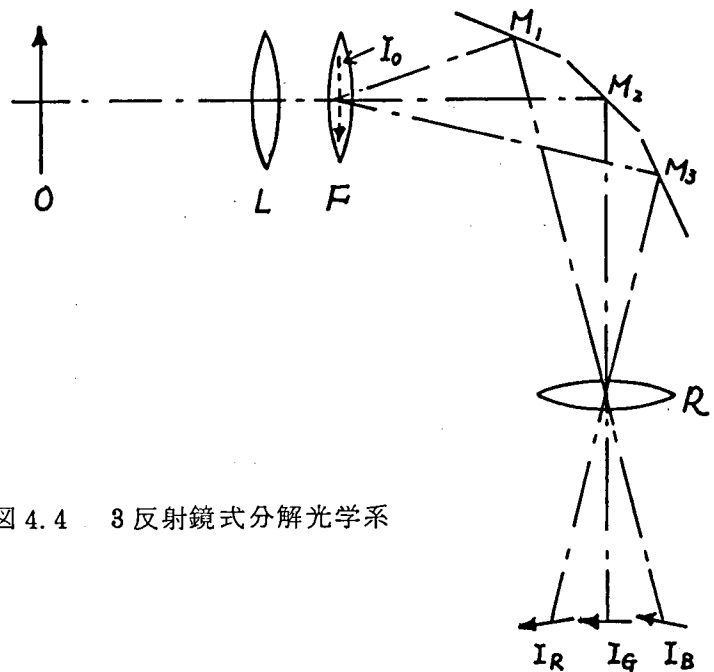


図4.4 3反射鏡式分解光学系

この方法によればリレーレンズは1個ですみ、構成も比較的簡単である。しかし反射鏡 M_1, M_2, M_3 の大きさは像間隔によって制限を受け、かなり小さいものになるから、相当の光量の損失をまぬがれない。これはリレーレンズの口径が小さくなることと等価であって、これによって撮影レンズの口径が制限される。さらに本質的な欠点は、 M_1 および M_3 で反射されてくる光線は、リレーレンズ R から見れば R の主点面に対して平行でなく傾いた面内に第1像 I_0 があって、それから発散して来た光線と等価であるため、像 I_R, I_G, I_B も同一平面内になく、 I_R, I_B が I_G に対して傾きを持つことになることである。

つぎに3つの鏡の位置および傾き、3つの像面の傾きについて数量的に考察してみよう。まず簡単のためリレーレンズを薄いレンズと仮定する。図4.5でリレーレンズを R 、その主点を P とする。物体 A から出た光線は鏡面 M_1 によって反射され、リレーレンズ R によって B 点に像を結ぶ。もしこの際 M_1 が、レンズ R の光軸と A 点を含む平面に垂直でかつ R の光軸に対して 45° の傾きを持つならば、 B 点は R の光軸上にある。そして当然のことながら M_1 による A の虚像は、 A から M_1 に立てた垂線上の、 M_1 に対して A の反対側の、 A と M_1 との間の距離と等距離の点 A' にあり、かつ M_1 が上記の角度の場合、 A' はやはり R の光軸上にある。そこで必要な3枚の鏡面のうち、真中の鏡面はこのような角度に配置すればよいことが容易に推定できる。そして鏡の位置は A', P, B を結ぶ直線と M_1 との交点 Q を含んでいることが望ましい。つぎに他の鏡面について考える。 A から発して鏡面

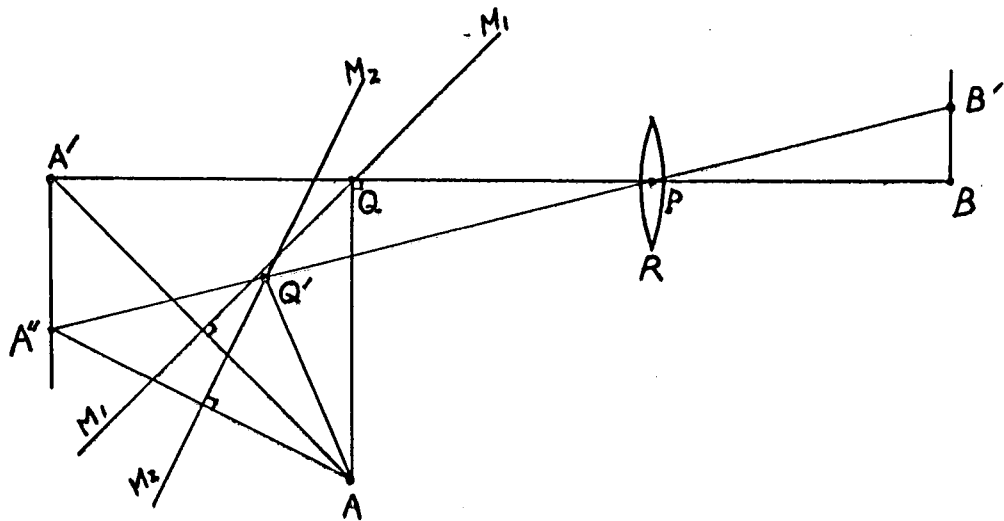


図 4.5 3 反射鏡式光学系における鏡の位置と傾きのきめ方

M_2 によって反射された光線はレンズ R をへて B' に結像するが、 $\overline{BB'}$ の距離は 3 つの像が撮像管の光電面内におさまることという条件からあらかじめ定まる。ここにもう一つ条件を加えて、像点 B 、 B' を含む面が、 R の主点面すなわち R の主点を含んで光軸に垂直な平面と平行であるとする。このようにすると、鏡面 M_2 によって作られる物点 A の虚像 A'' と、さきに求めた A' を含む平面は R の主点面にやはり平行でなければならない。そして B' の位置はあらかじめ定められるから作図または計算によって A'' の位置も定まり、 M_2 は線分 $\overline{AA''}$ の垂直二等分平面として求められる。そしてさらに実際の応用上から考えて、 M_1 と同様に、 M_2 を、 R の光軸と A とを含む平面に垂直に配置するのが考えやすく、合理的である。また実際の鏡面は $\overline{A'B'}$ と M_2 の交点 Q' を含むように配置するのがよい。

つぎに図 4.6 において L を薄いレンズとし、 O をレンズ L の光軸を足とする線状の物体とし、 I をレンズ L によって形成された O の実像とすると、 O を線分として含む直線と I を線分として含む直線とは L の主点面上の一点 E で交わるという関係を証明できる。さらにこれを拡張して、物体 O を含む平面と像 I を含む平面との交線は L の主点面上にあるという関係をも証明できる。(これらの証明は付録 A 1 で行なり。) この関係を用いると、3 反射鏡式による 3 つの像の間の傾きの角度を求めることができる。

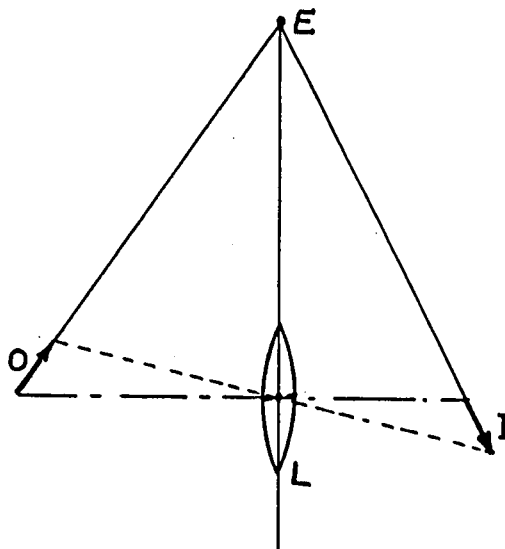


図 4.6 傾いた物体、像とレンズの関係

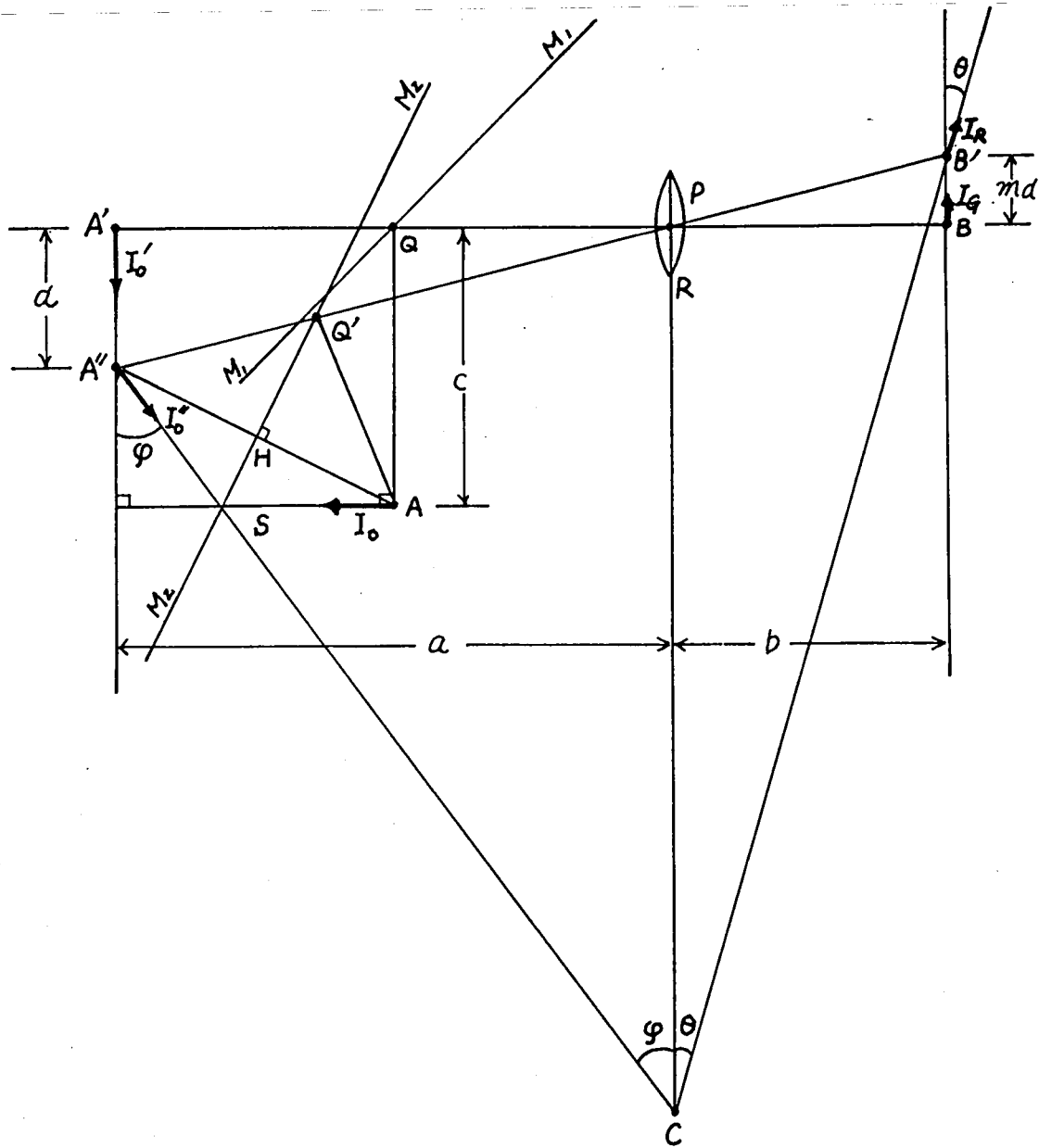


図 4.7 3 反射鏡式光学系における像の傾き

まず図 4.7 のようにリレーレンズ R を薄いレンズとし、その主点を P とする。そして第 1 像 I_0 は R の主点面に垂直な面上にあるものとする。 I_0 を含む平面および R の主点面に対してそれぞれ 45° の角度に鏡面 M_1 を配置すると、 I_0 から発して M_1 によって反射された光線は R によって I_{0c} の位置に結像する。 I_{0c} は R の主点面に平行な面上にある。つぎに M_1 とは異なった角度に配置された鏡面 M_2 による I_0 の虚像は M_2 に対して I_0 と対称の位置 I_0'' にできる。R による I_0'' の像は I_R の位置にできる。そして先に述べた関係により、 I_0'' を含む直線と I_R を含む直線は R の主点面上 C で交わり、 I_0'' を含む平面と I_R を含む平面は同じく P の主点面上で C を含む交線で交わる。 I_R と主点面の成す角を θ とし、 I_0'' と主点面の成す角を φ とする。R の光軸と鏡面 M_1 との交点を Q、Q から I_0 への垂線の足を A とすれば Q は A から出てレンズ R の主点 P へ向う主光線の、 M_1 における反射点である。R による A の像は B である。 M_1 による A の虚像は R の光軸上 A' にできる。さきに述べたように B を含んで R の主点面に平行な面上、B の近傍に像 B' を結ばせるためには、 A' を含ん

で同じく R の主点面に平行な平面と、B' と P を結ぶ直線との交点 A'' に A の虚像を結ばせるように鏡面 M₂ を配置しなければならない。このとき M₂ は線分 AA'' の垂直二等分面であることはすでに述べた。A''B' と M₂ との交点 Q' は A から出て B' に至る主光線の M₂ における反射点である。I₀ と I₀' との M₂ 上における交点を S とする。さらに $\overline{A'P} = a$, $\overline{PB} = b$, $\overline{AQ} = \overline{A'Q} = c$, $\overline{A'A''} = d$, 投影倍率 $= \frac{b}{a} = m$ とする。このとき、

$$\begin{aligned} a \cdot \cot \varphi + d &= b \cdot \cot \theta - md \\ &= ma \cdot \cot \theta - md \end{aligned} \quad (4.1)$$

であるから、これを解いて

$$\theta = \cot^{-1} \frac{a \cdot \cot \varphi + (1+m)d}{ma} \quad (4.2)$$

となる。また

$$\angle A''AS = \angle AA''S = \frac{\varphi}{2}$$

であるから

$$\varphi = 90^\circ - 2 \tan^{-1} \frac{c-d}{c} \quad (4.3)$$

となり、式 (4.2) , (4.3) から θ が求まる。一般には撮像管光電面の寸法から md がきまり、また f を焦点距離とすれば

$$a = \left(1 + \frac{1}{m} \right) f \quad (4.4)$$

となるから、m, md, f, c を与えて、それから上記の諸式を用いるのが実用上便利である。いま一つの例として、 $m = \frac{2}{3}$, $md = 5 \text{ mm}$, $f = 50 \text{ mm}$, $c = \frac{a}{2}$ とおいて θ を求めると、 $\theta = 4^\circ 49'$ となる。このとき長さ 5mm の像の両端が BB' を含む面から離れる距離は約 0.2mm となる。このような像の傾きのために起る BB' 面 (実際には撮像管の光電面) 上での像のぼけの程度を像の両端位置における錯乱円径で見積ってみると、リレーレンズとして F 2 のレンズを用いた場合には錯乱円径は約 0.06mm, F 4 とした場合 0.03mm となる。

4.1.3 屈折式

3 反射鏡式における 3 つの反射鏡を図 4.8 のようなプリズム P におきかえ、これで光線を屈折させて I_R, I_G, I_B の 3 つの像を作る方法が考えられる。この方式の利点、欠点はほぼ 3 反射鏡式と同様であると考えられるが、そのほかにプリズム P によって屈折を受ける際に I_R, I_B において非点収差を生ずる欠点がある。

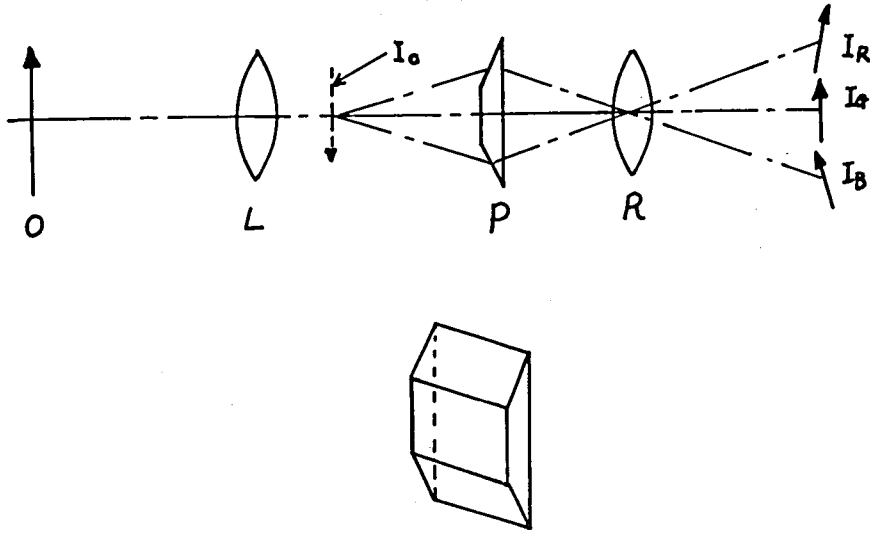


図 4.8 屈折式分解光学系

4.1.4 トライアッド式

図 4.9 において I_0 を撮影レンズ L によって結像せしめられた物体 O の第 1 像とする。図に示すように、焦点距離の等しい 3 つのリレーレンズ R_1, R_2, R_3 の光心を同一平面上に並べて配置すると、これらのリレーレンズ群によって、 I_0 の像が I_R, I_G, I_B のように同一平面上にできる。(もちろんこれは理想的に考えた場合であって、実際にはレンズの収差のために必ずしも厳密に同一平面上にできない。) そこで、それぞれの光路途中にそれぞれ適当な分光透過特性を持った色分解フィルタ F_R, F_G, F_B を挿入しておけば、 I_R, I_G, I_B を所要の赤、緑、青の 3 色像とすることができる。

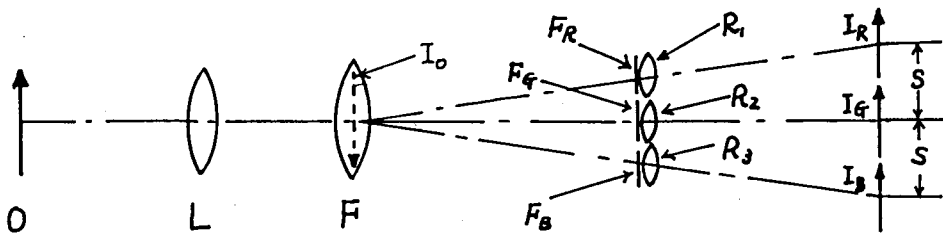


図 4.9 トライアッド式分解光学系

この場合まず考えられることは、 I_R, I_G, I_B の 3 つの像を単一撮像管の光電面上に作るためには、リレーレンズ R_1, R_2, R_3 の光心の間隔は相当小さいものでなければならないということである。いま、 I_R, I_G, I_B の I_0 に対する投影倍率を m とし、 I_R, I_G, I_B 各光像中心間の間隔を s とすると、 R_1, R_2, R_3 の光心の間隔 p を

$$p = \frac{s}{1+m} \quad (4.5)$$

としなければならないことが容易にわかる。かりに $m = \frac{2}{3}$ 、 $s = 5\text{mm}$ とすれば、光心の間隔は $p = 3\text{mm}$ となる。このように光心間隔をせまくし、しかも相当の明るさを確保するには、リレーレンズ

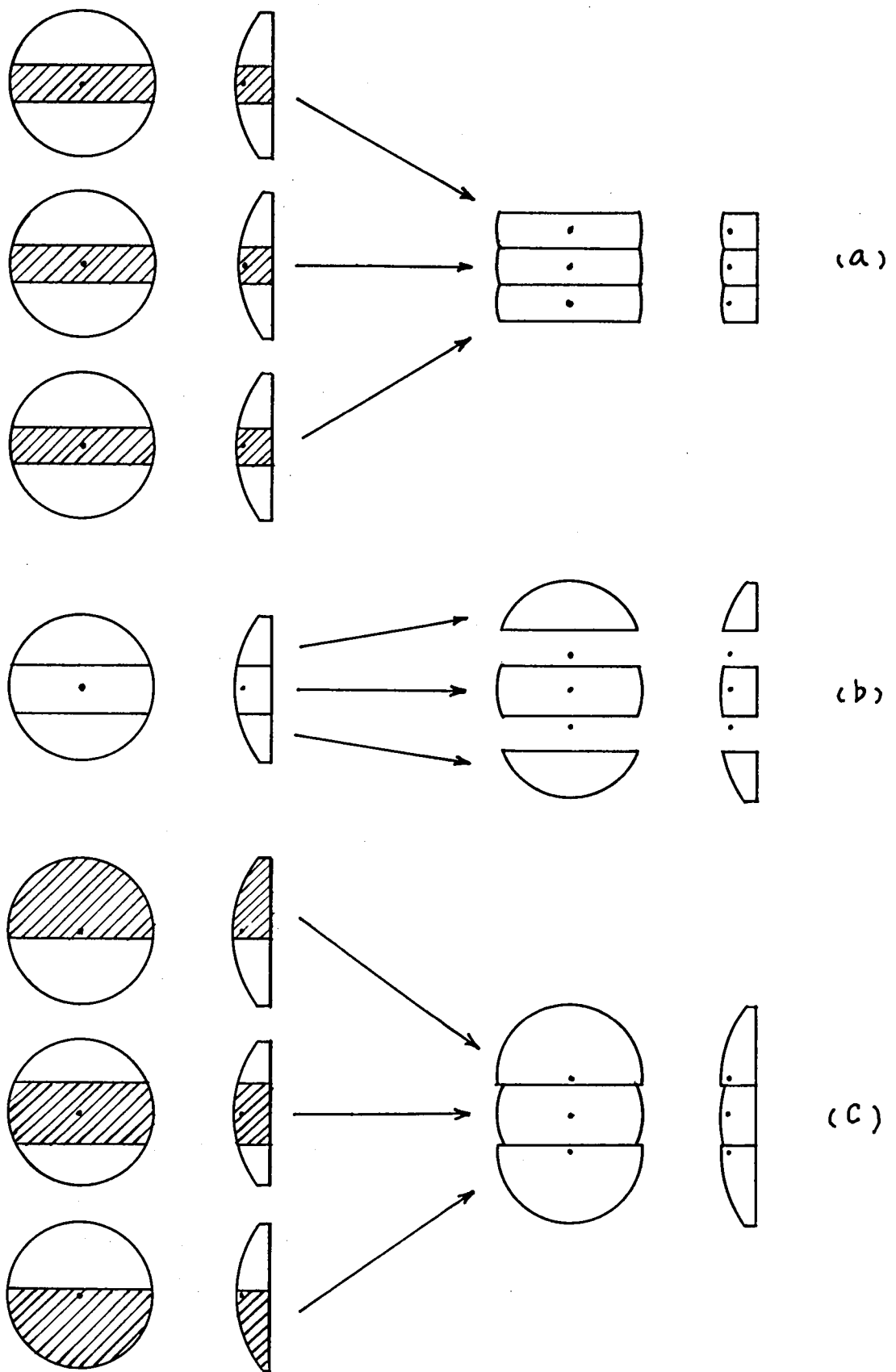


図 4.10 トライアッド・リレーレンズの構成

群を図4.10に示すように構成する以外に方法が考えられない。すなわち、大きいレンズを切断して、もとのレンズの光心が所要の間隔をもつように、これらの切断されたレンズ片を配置するのである。

図4.10(a)の形式は3つのレンズからそれぞれ光軸を含む中央部を切り出して組み合わせたものであって、3つのレンズ片について解像力と光量のバランスをとることができるが、各レンズ片の切断幅を光心間隔としなければならないため、レンズの明るさが小さくなる。(b)のように一枚のレンズを3分割すると、光心間隔を小さくするために明るさを犠牲にする程度は小さくなるが、両端のレンズ片による像はいちじるしく悪くなる可能性がある。結局この種レンズ群の構成としては図4.10(c)のように(a),(b)の中間の形式をとるのが有利である。この場合、中間のレンズ片による像はもっとも収差が少なく高品質のものとなる。光量のバランスは3つのレンズ片の切断の位置を適当にすることによって得られる。

図4.10のようなレンズ群をトライアッドレンズとよぶこととし、⁴⁵⁾このレンズ群をリレーレンズとして用いた場合、それをトライアッド・リレーレンズとよぶことにした。

トライアッドレンズの要素であるレンズ片として、複雑な構成のものを用いることは不可能で、ほとんど単レンズあるいはセメントドダブルットに限定される。このため大きい画角に対しては収差の大となるをまぬがれない。しかしカラーテレビ用三色分解光学系におけるリレーレンズとして使用する場合には、第一像 I_0 、第二像 I_R 、 I_G 、 I_B の寸法が限定され、これに対してある程度リレーレンズの焦点距離を長くとれば、画角は比較的小くなって、上記のような簡単なレンズを用いても実用上差支えない程度の質の像を得ることができる可能性がある。

4.1.5 光学系の選択

ダイクロミックミラーあるいはダイクロミックプリズム式光学系は構造複雑となり、経済的に非常に問題がある。また最終的に撮像管光電面に投影される画像が小さいために、この方法の特長である高画質を得るためには、反射鏡、レンズなどの研磨および整列の精度を厳しくする必要があるので、このためにさらに費用がかかることになり、簡易型CCTVの光学系としては適当とはいえない。

3反射鏡式は本質的に像に傾きを生ずる欠点のほか、色分解を行なうための適当な方法が見つからない。後者は決定的な欠点である。さらに反射鏡の研磨、整列の精度を厳しく定める必要があるほか、反射鏡の寸法が制限を受けるために光量の低下をまぬがれない。

屈折式は3反射鏡式の欠点のほかに非点収差によって像が悪くなる欠点加わる。

最後にトライアッド式は光学系全長の長くなること、画質が優れているとは期待できないこと、リレーレンズ口径が制限を受けるために投影画像が明るくなり得ないなどの欠点を有するが、これらがいずれも決定的な欠陥とは考えられないことと、構成の簡単なことを考慮すると、簡易型CCTVとして実用性のあるものと考えられる。したがって実験装置の光学系としてトライアッド式を採用することとした。

4.2 トライアッド式光学系の基本設計

図4.11にトライアッド式三色分解光学系の基本構成を示す。一般用CCTVとして実用性を持た

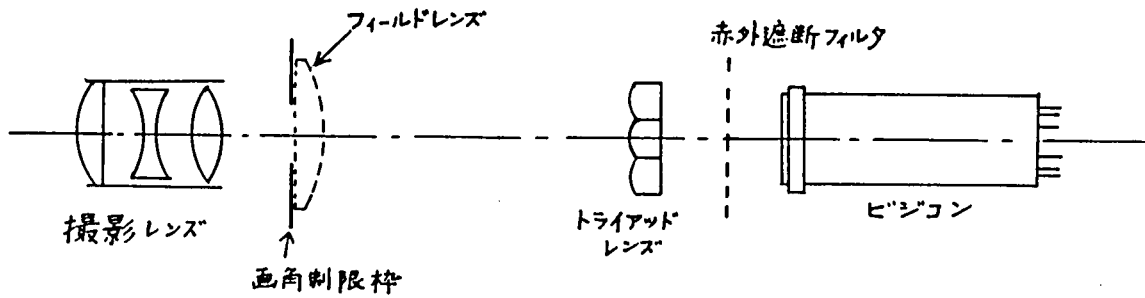


図 4.11 トライアッド光学系の基本構成

せるために、撮影レンズとして市販のCマウントとよぶマウントを持つ16mm映画用撮影レンズ、あるいはライカマウントの35mmサイズのカメラレンズが交換使用できるようにする。これら撮影レンズによる第1像 I_0 を枠で制限し、この第1像をリレーレンズによってビジコンの光電面上に再結像させる。リレーレンズとしてトライアッドレンズを使用する。第1像から発散する光線をリレーレンズの方へたたみ込んで、リレーレンズの口径を節約するためにフィールドレンズを用いる。

ビジコンのビーム径は無限小ではなく、また光電面の電荷は横方向にリークするから、光電面上の3色像の寸法はできるだけ大きくする方が高い解像度を得るために望ましいが、光電面の不均一およびビームの不均一のために周辺でシェーディングが大きくなる可能性があるため、限度がある。そこで標準走査の寸法を参考に考えてみる。ビジコンの標準走査寸法は水平12.7mm、垂直9.6mmであって、その対角線寸法は15.9mmである。つぎに横対縦の比が4:3であるような像を3つ垂直に密接して配置し、全体の対角線寸法が15.9mmとなるためには、各像の寸法は横6.45mm、縦4.84mmでなければならない。これをきりよく横6.67mm、縦5mmとすると全体の対角線寸法は16.43mmとなって、標準走査の対角線寸法を若干上廻るが、通常のビジコンを使い限り、この程度の差異によってシェーディングの発生がいちじるしく大きくなるとは考えられない。以上の考察から各3色像の、光電面上における投影寸法を横6.67mm、縦5mmときめた。

リレーレンズの焦点距離はなるべく短くする方が光学系の全長が短くなり、また同じ口径のレンズを用いても口径比 $F = \frac{f}{D}$ を小さくできるので明るさの点でも有利であるが、一方画角の増加によって急激に画質の劣化をまねく恐れがある。いま光学系全長とリレーレンズの焦点距離、画角などの関係を求めてみるとつぎのようになる。

図 4.12 に示すように第1像 I_0 とリレーレンズの光心間の距離 a は

$$a = \left(1 + \frac{1}{m} \right) f \quad (4.6)$$

リレーレンズと光電面上の第2像 I_R, I_G, I_B との距離 b は

$$b = (1 + m) f \quad (4.7)$$

ただし f : リレーレンズの焦点距離

m : 第1像に対する第2像の投影倍率

なることは容易にわかるから、第1像 I_0 から光電面までの全体の距離 c は

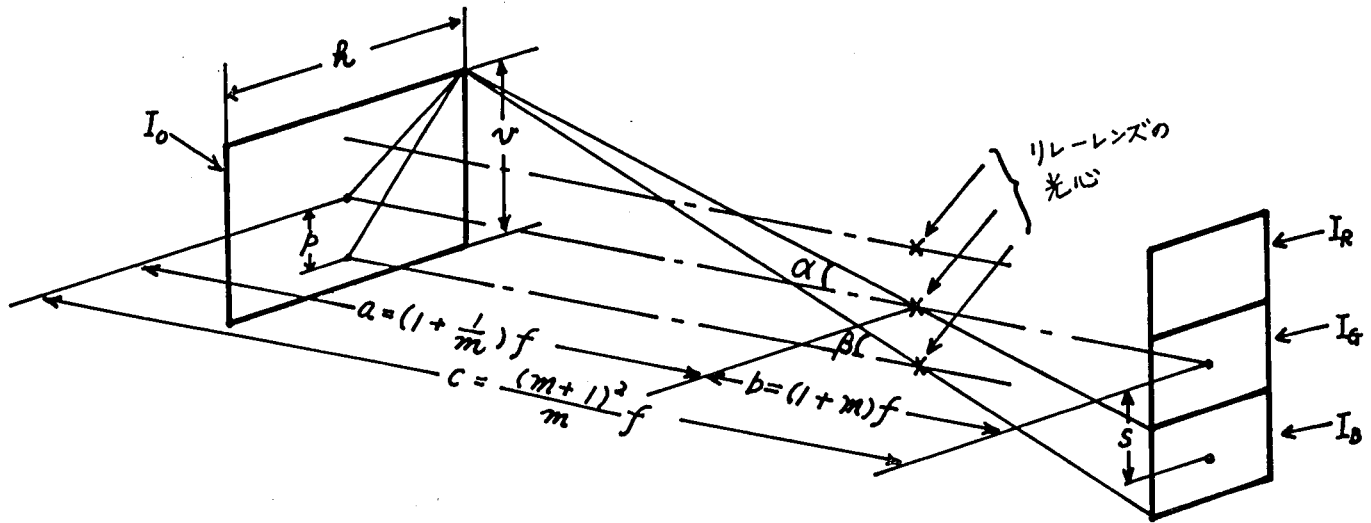


図 4.12 第1像, リレーレンズ光心, 第2像間の関係

$$c = \left(1 + \frac{1}{m}\right)f + (1+m)f = \frac{(m+1)^2}{m}f \quad (4.8)$$

となる。また第1像 I_0 の横の寸法を h , 縦の寸法を v とすると, 中央のレンズによる像 I_G の, 光軸に対する最大画角 α は

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sqrt{h^2 + v^2}}{2a} \quad (4.9)$$

で与えられ, 上下のレンズによる像 I_R, I_B の, 上下のレンズの光軸に対する最大画角 β は

$$\beta = \tan^{-1} \frac{\sqrt{\frac{h^2}{4} + \left(\frac{v}{2} + p\right)^2}}{a} \quad (4.10)$$

で与えられる。また p は前にも述べたように

$$p = \frac{s}{1+m} \quad (4.11)$$

ただし s : I_R, I_G, I_B 中心間の間隔

で与えられる。

表 4.1 は上記の各式にいろいろの数値を与えて a, c, p, α, β などを計算した結果を示す。ただし第2像 I_R, I_G, I_B の寸法は前の考察から $6.67\text{mm} \times 5\text{mm}$, $s = 5\text{mm}$ としてある。第1像の寸法 $24\text{mm} \times 18\text{mm}$ は 35mm サイズ映画のコマ寸法, $10\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ は 16mm サイズ映画のコマ寸法をとったものである。

後に考察するように, 単レンズ, あるいはセメントドダブルットのような簡単なレンズでは画質の関係で口径比 (F 値) を極端に大きくとらない限り, 光軸に対する画角を $3^\circ \sim 4^\circ$ 以上とることができない。この条件に適合するのは表 4.1 では第1像寸法を $10\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ とし, リレーレンズの焦点距離を 50mm とした場合のみである。このとき光学系全体の長さは約 $200\text{mm} +$ 撮影レンズの焦点距離ぐらいになり, とくに実用性を害するほど大きくはない。したがって以上の考察から, 撮影

表 4.1 リレーレンズの焦点距離と各部の寸法，最大画角

リレーレンズの 焦点距離 (mm)		50			35		
第 1 像の寸法 (mm × mm)		24 × 32	18 × 24	7.5 × 10	24 × 32	18 × 24	7.5 × 10
第 1 像光電面間 距離 (mm)		350	294	208	245	206	146
リレーレンズ光電 面間距離 (mm)		60.4	64.0	83.3	42.3	44.8	58.3
光 心 間 隔 (mm)		4.31	3.91	3.00	4.31	3.91	3.00
光軸に対 する最大 画角	中央 レンズ	3°57'	3°44'	2°52'	5°38'	5°19'	4°05'
	上下 レンズ	4°30'	4°23'	3°52'	6°25'	6°14'	5°29'

レンズとして16mm 映画用撮影レンズを用い，第1像の寸法を10mm × 7.5mm の16mm映画のコマ寸法に制限し，これを焦点距離約50mm のリレーレンズ群で，ビジコンの光電面上に6.67mm × 5mm の寸法に結像させるのが妥当であるという結論に達した。なおリレーレンズとしては画質の点から見てセメントッドダブルットを用いるべきであろうと考えられるが，一応単レンズの場合についても検討してみることにした。

4.3 リレーレンズの設計^{52) 53)}

リレーレンズを設計するにあたって基本的に考慮したことはつぎのようなことである。

- (1) 単レンズまたはセメントッドダブルットレンズでは非点収差および像面彎曲を補正することはできないので，球面収差だけをなるべく小さくするように設計する。
- (2) レンズの厚さはレンズの工作ならびに鏡筒への組込みに際して支障のない限り薄くする。これは口径食による光量の不均一を避けるためである。すなわち，トライアッドレンズのように切断されたレンズにおいて，図4.13に示すように切断幅に比して厚みが厚い場合には，光軸に対して傾きを持って入射する光束はレンズ片の上縁と下縁で制限を受け，光量の不足を生ずることになる。これはビジコンのシェーディングと相まって画像周辺部における色相のずれを生ずる原因となるから極力避けねばならない。

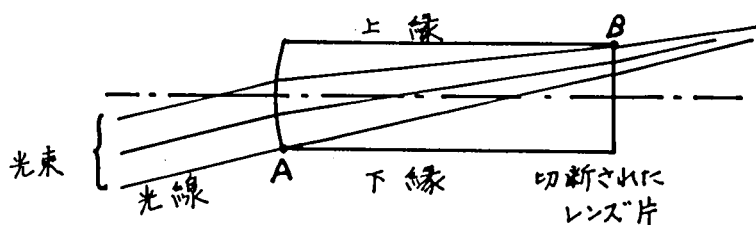


図 4.13 レンズ片の口径食 (光束は A, B で制限される)

(3) レンズの設計法としては邪道であるが、実験を迅速に進めるため、光学ガラス材料として入手しやすいものを用い、かつレンズメーカーが手持の研磨器具を使用できるようにレンズの曲率半径として、とくに支障のない限り $\times\times.5$, $\times\times.0$ などのきりのよい数字を採用する。

4.3.1 単レンズを用いたリレーレンズ

(1) 設計

図 4.14 に単レンズを示す。 r_1 は第 1 面の曲率半径、 r_2 は第 2 面の曲率半径、 d は厚みである。また図 4.15 は球面収差を示す図である。光軸上の物点 P から発して、レンズの光軸から h だけ離れた点に入射した光線が再び光軸と Q 点で交わるとすると、 Q 点と理想像面との距離 Δ が球面収差である。 $\Delta < 0$ のとき、すなわち Q が理想像面の前方にあるとき球面収差の補正不足、 $\Delta > 0$ のとき、すなわち Q が理想像面の後方にあるとき球面収差の補正過剰であるという。図 4.15 に示すように球面収差による錯乱円の半径は a であり、その 2 倍すなわち $2a$ は解像限界となる。

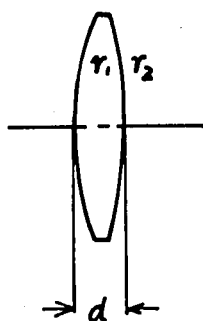


図 4.14 単レンズ

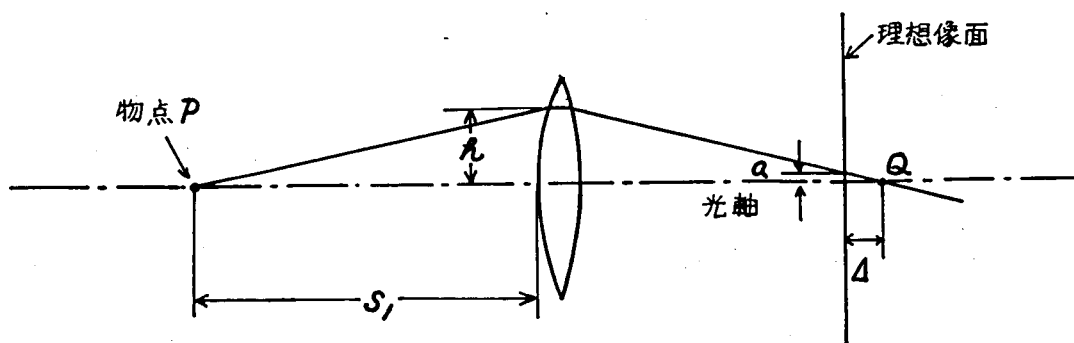


図 4.15 球面収差 高さ h のところに入射する光線は理想像面から Δ 離れたところで光軸と交わる。

単レンズを用いたリレーレンズの設計方針としては、先にも述べた通り、与えられた条件の下で球面収差を最小にするようにする。この目的のためには球面の曲率をなるべく小さくすることが必要であり、小さい曲率で短い焦点距離のレンズを得るためにガラス材料としては屈折率の大きいものを選ぶことにする。その中でもできるだけ色収差を小さくするために分散の小さいもの、すなわち Abbe 数 ν の大きいものを選ぶ。この観点から使用光学材料として SK-16 ($n_d = 1.6204$, $\nu = 60.3$) を選定した。表 4.2 に後のダブルレットレンズの材料とあわせて筆者の使用したガラス材料の光学的性質を示す。

表 4.2 使用した光学ガラスの屈折率と分散

ガラス	n_c	n_d	n_F	n_g	ν
SK16	1.6173	1.6204	1.6276	1.6331	60.3
BaK1	1.5695	1.5725	1.5794	1.5849	57.5
F2	1.6150	1.6200	1.6321	1.6421	36.3
BK7	1.5139	1.5163	1.5219	1.5262	64.1

n_c : C線 (656.3 nm) に対する屈折率

n_d : d線 (587.6 nm) ν

n_F : F線 (486.1 nm) ν

n_g : g線 (435.8 nm) ν

$$\nu = \frac{(n_d - 1)}{(n_F - n_c)}$$

薄いレンズの場合，球面収差 Δ は次式で表わされることを導くことができる。なおこの式の誘導は煩雑であるので付録A2にゆずる。

$$\Delta = \frac{-(1+m')^2}{2m'^2 f^2} h^2 S$$

$$S = \frac{n+2}{nf} \left(\frac{1}{r_1}\right)^2 + \frac{1}{f^2 n^2} \left[\frac{1-2n-2n^2}{n-1} + \frac{1+n}{1+m'} \{ (1-m')(2n-1)+2 \} \right] \left(\frac{1}{r_1}\right) \quad (4.12)$$

$$+ \frac{1}{1+m'} + \left(m' + \frac{1}{n^2}\right) \left[\frac{1}{(n-1)^2} + \frac{2m'}{(n-1)(1+m')} - \frac{1-m'}{1+m'} \right]$$

ただし n : レンズの屈折率

f : レンズの焦点距離

r_1 : レンズ第1面の曲率半径

$m' = \frac{1}{m}$: 投影倍率の逆数

球面収差最小の条件を求めるためには式(4.12)を $\left(\frac{1}{r_1}\right)$ に関して微分し

$$\frac{d\Delta}{d\left(\frac{1}{r_1}\right)} = \frac{2(n+2)}{nf} \left(\frac{1}{r_1}\right) + \frac{1}{f^2 n^2} \left[\frac{1-2n-2n^2}{n-1} + \frac{1+n}{1+m'} \{ (1-m')(2n-1)+2 \} \right] \quad (4.13)$$

$\frac{d\Delta}{d\left(\frac{1}{r_1}\right)} = 0$ において r_1 を求めればよい。そうすると

$$r_1 = \frac{-2(n+2)nf}{\frac{1-2n-2n^2}{n-1} + \frac{1+n}{1+m'} \{ (1-m')(2n-1)+2 \}} \quad (4.14)$$

$$\text{さらに } \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right) \quad (4.15)$$

なる関係が広く知られているから，第2面の曲率半径 r_2 がおのずと求まる。

いま第1像の寸法を35mm映画のコマ寸法である $24\text{mm} \times 18\text{mm}$ にえらぶと $m' = \frac{18}{5}$ であるから、この数値および $n = 1.6204$, $f = 50$ という値を式(4.14)および式(4.15)に入れて球面収差最小のレンズは $r_1 = 41.1$, $r_2 = -126.7$ であると知ることができる。また第1像の寸法として16mm映画のコマ寸法 $10\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ をとると $m' = \frac{3}{2}$ となり、この場合の球面収差最小のレンズは $r_1 = 52.5$, $r_2 = -75.7$ である。先にきめた、端数を $\times \times .0$ または $\times \times .5$ に揃えるという制限により、これらの数値をそれぞれ、 $r_1 = 41.0$, $r_2 = -127.0$, および $r_1 = 52.5$, $r_2 = -75.5$ と修正し、前者の第1像寸法 $24\text{mm} \times 18\text{mm}$ に対して球面収差最小に設計したレンズをレンズⅠ、後者の第1像寸法 $10\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ に対して球面収差最小に設計したレンズをレンズⅡとした。さらに厚み d は適当に 2.5mm ときめた。これが単レンズを用いたリレーレンズの設計値である。

つぎにこれを実際に三角追跡にかけてみて、各収差の状況をしらべてみた。三角追跡の方法はいくつもあるが、ここでは付録A3に示す方法を用いた。ただし実際の計算はデジタル計算機を用いて行なった。

以下に計算の結果を示す。まず図4.16および図4.17は球面収差を示す曲線である。 h は図4.15に示したように光線の入射する高さ、 Δ は光線が再び光軸を切る点と理想像面間の距離である。図4.16はレンズⅠの、図4.17はレンズⅡの球面収差を示す。物点の距離をそれぞれ第1面の前方 ∞ , 230mm (第1像寸法を $24\text{mm} \times 18\text{mm}$ とした場合の第1像とリレーレンズ第1面間の距離), 125mm (第1像寸法 $10\text{mm} \times 7.5\text{mm}$ の場合の第1像とリレーレンズ第1面間の距離) とした場合について示してある。

つぎに非点収差曲線を示す。非点収差曲線は図4.18のように物点Pの、レンズによる球欠的像(sagittal image) Sと子午的像(meridional image) Mの理想像面からの距離を Δs , Δm として、入射光線の光軸に対する角度 ω と Δs , Δm の関係を表わしたものである。 Δs と Δm の差が非点収差を表わす。また最小錯乱円はSとMとの中間にあって、物体と相似な像面は球欠的像Sの作る面と子午的像Mの作る面との中間にあるから、 Δs を表わす曲線と Δm を表わす曲線の中間をたどっていけば像面彎曲の様様を知ることができる。

図4.19は上記レンズの非点収差曲線である。球面収差の場合と同じく物点距離 $-\infty$, -230.0 , -125.0 の3つの場合について計算した。上記2種類のレンズについてこの曲線にはほとんど差異がないので、一例のみを示した。

最後に、像の歪曲については、図4.20に示すように理想像に対する実際の像の縮小率または拡大率をもって表わされる。符号が負ならば縮小、正ならば拡大である。画角の増大とともに歪曲が負の方向に増加するとき、像はたる型に歪み、歪曲が正の方向に増加するとき、像は糸巻型に歪む。

図4.21は上記レンズの歪曲収差曲線を示す。

(2) 考察

図4.16および図4.17より単レンズの場合、最良の設計をしたとしても、球面収差がいちじるしく大きいことが明らかにわかる。またSK-16のような分散の小さいガラス材料を用いても、色収差は大きい。いま球面収差による解像力の低下の程度を知るために、フレア曲線すなわち理想像面における錯乱円半径 a (図4.15参照)と入射光高さ h との関係を示す曲線を求めてみると図4.22および図4.23のようになる。そこでつぎに錯乱円径と解像力の関係を考えてみよう。

$r_1 = 41.0$ $n = 1.6204$ (SK-16)
 $r_2 = -127.0$ $f = 50.24$
 $d = 2.5$

——— d 線 (587.6 nm)
 - - - - C 線 (656.3 nm)
 - - - - F 線 (461.6 nm)

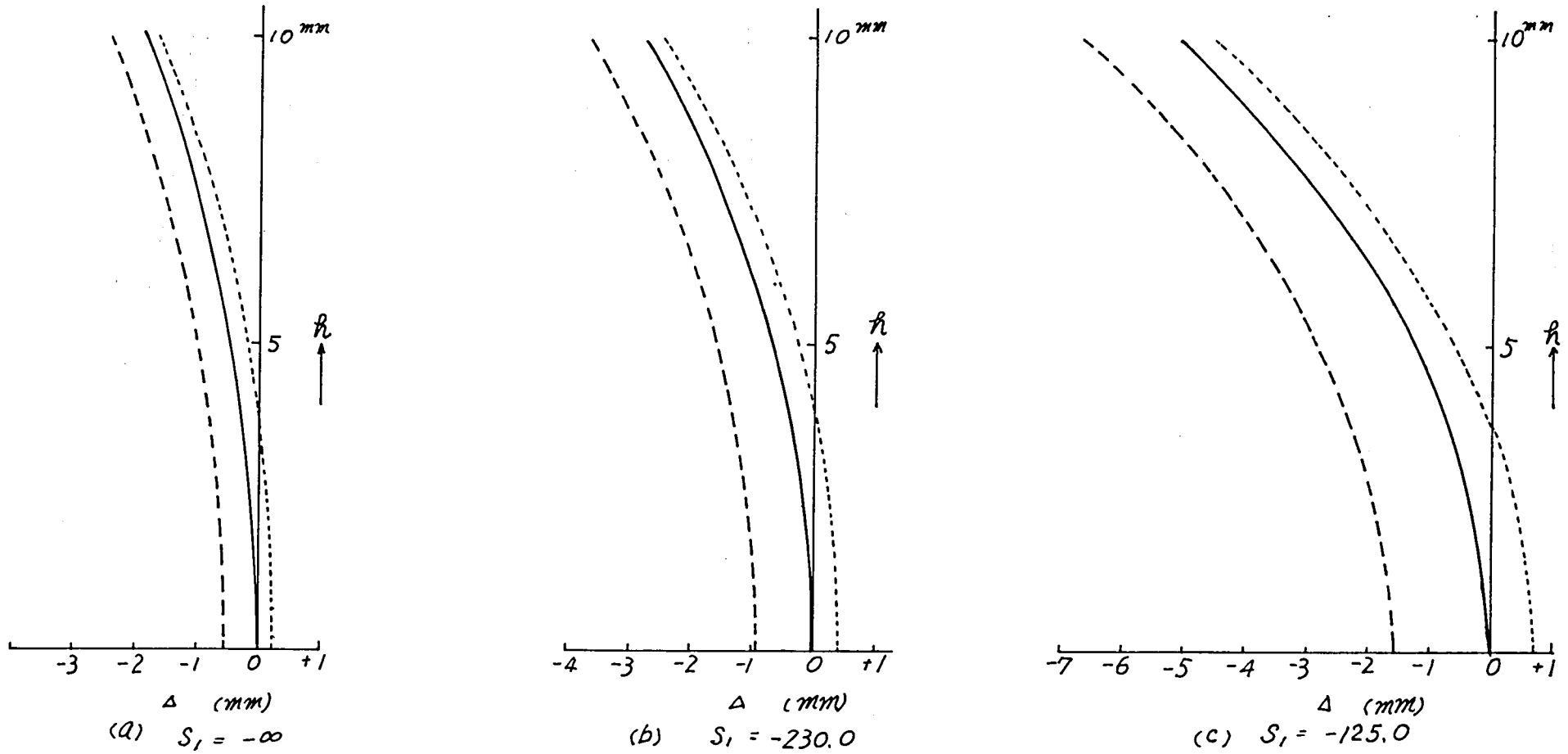


図 4.16 レンズ I の球面収差 ($s_1 = -230.0$ について球面収差最小としたもの)

$r_1 = 52.5$ $n = 1.6204$ (SK-16)

$r_2 = -75.5$

$d = 2.5$ $f = 50.29$

— d 線
 - - - C 線
 - - - F 線

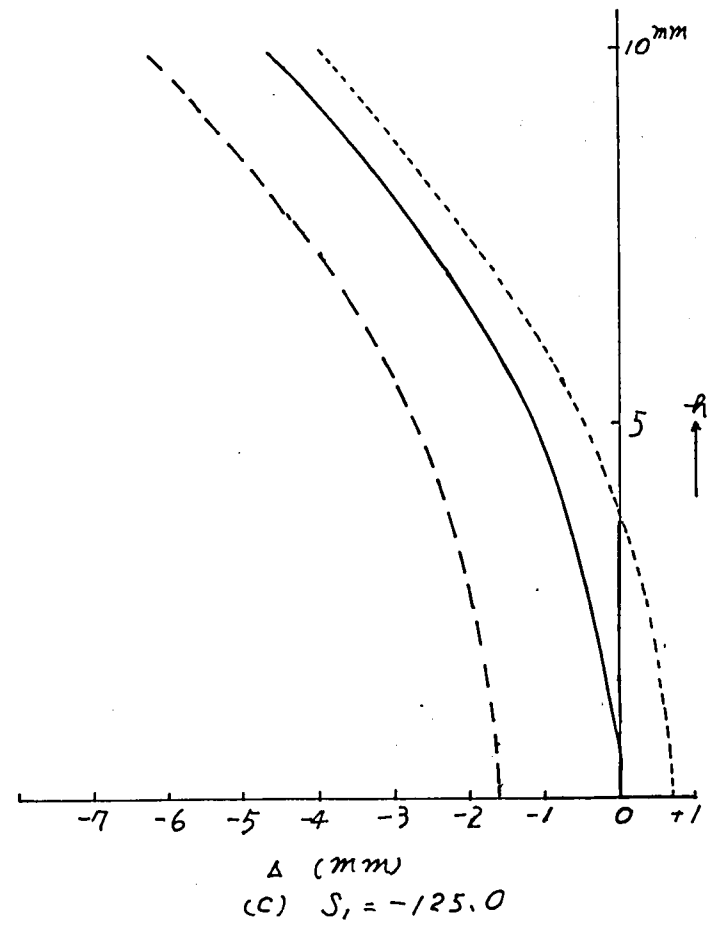
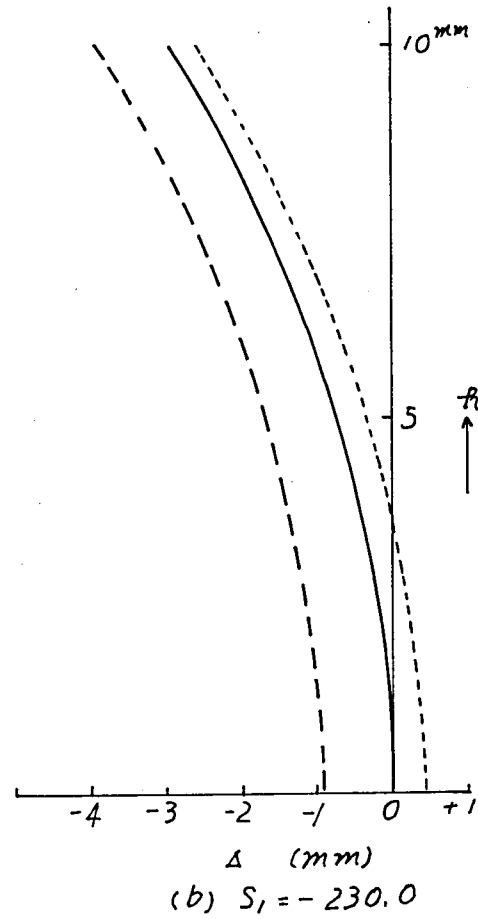
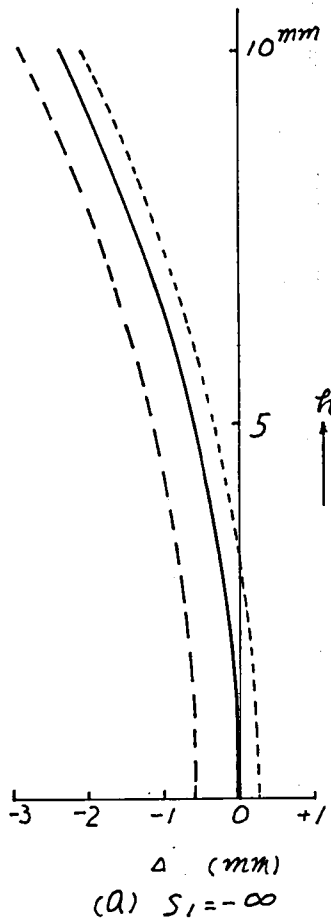


図 4.17 レンズⅡの球面収差 ($s_1 = -125.0$ について球面収差最小としたもの)

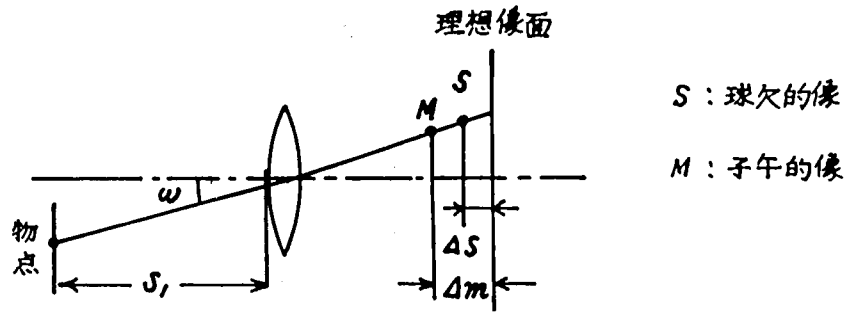


図 4.18 非点収差 (球欠的像と子午的像の間に最小錯乱円ができる。)

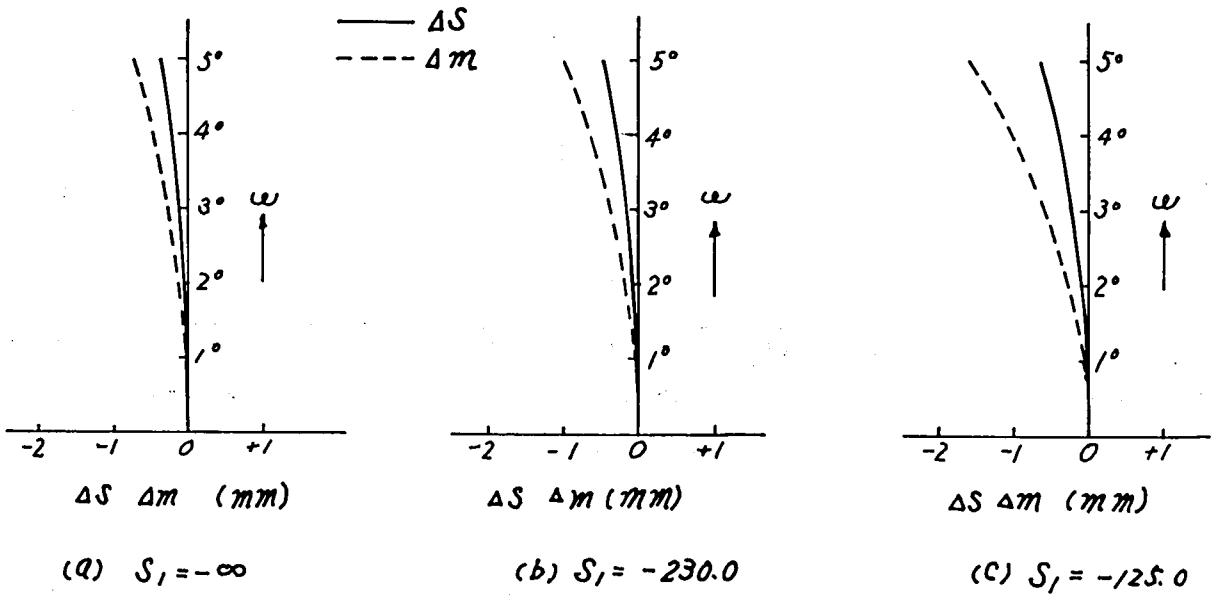


図 4.19 レンズ I の非点収差

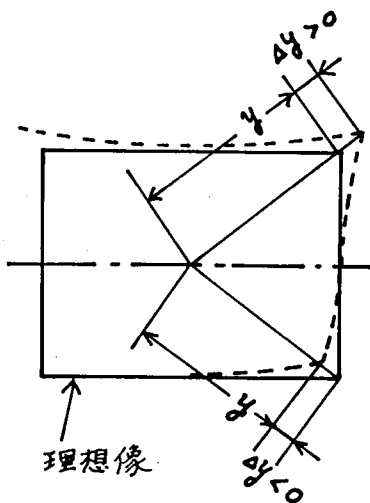


図 4.20 像の歪曲

$$\text{歪} = \frac{\Delta y}{y}$$

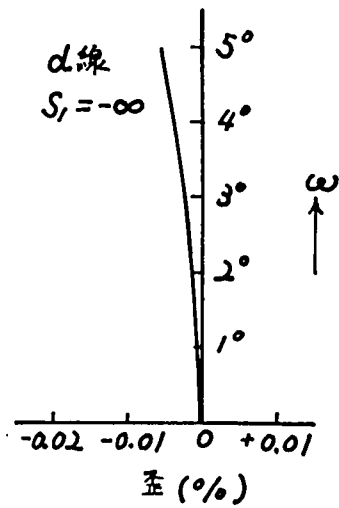


図 4.21 レンズ I の歪曲収差

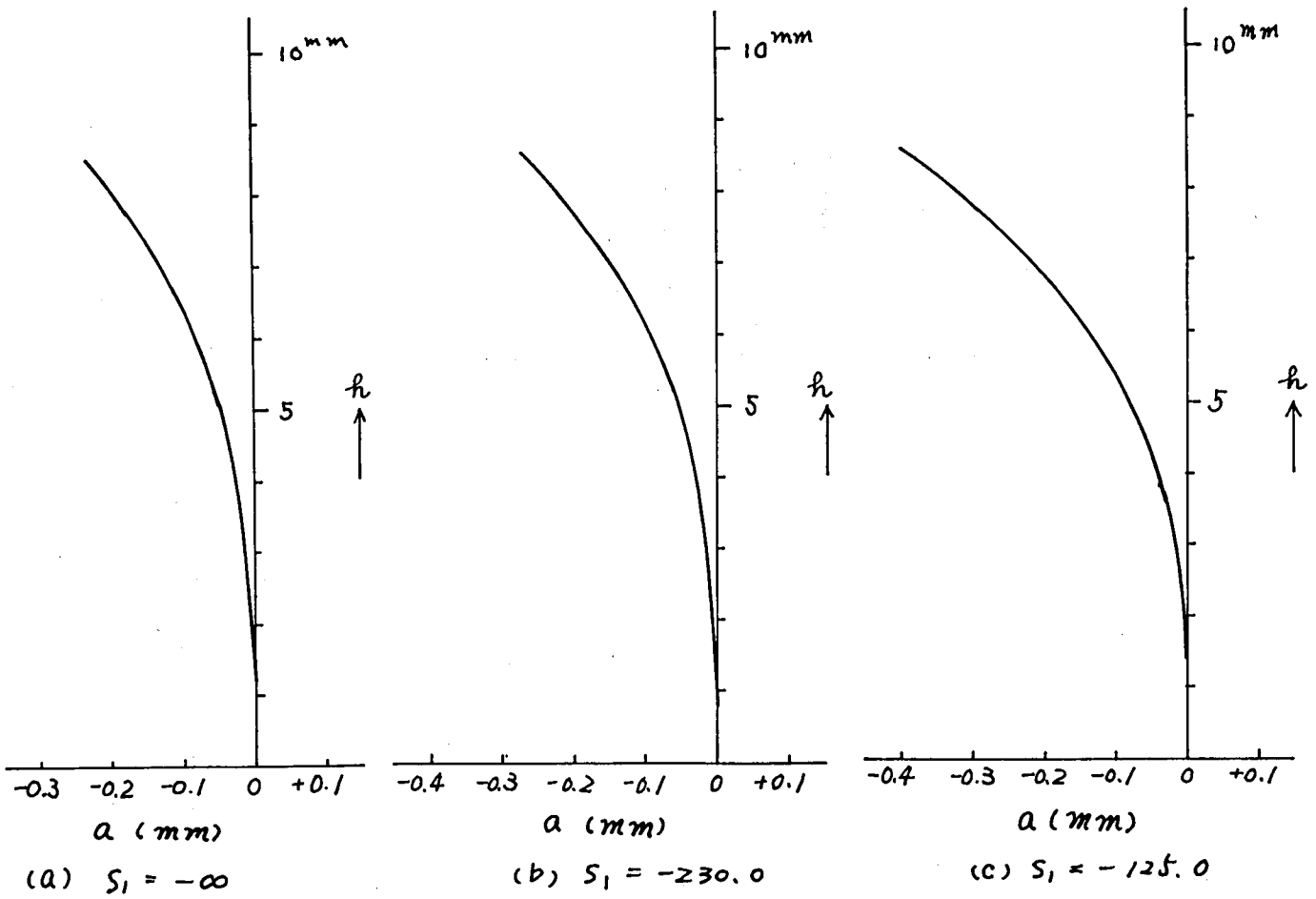


図 4.22 レンズ I のフレア曲線 (d 線)

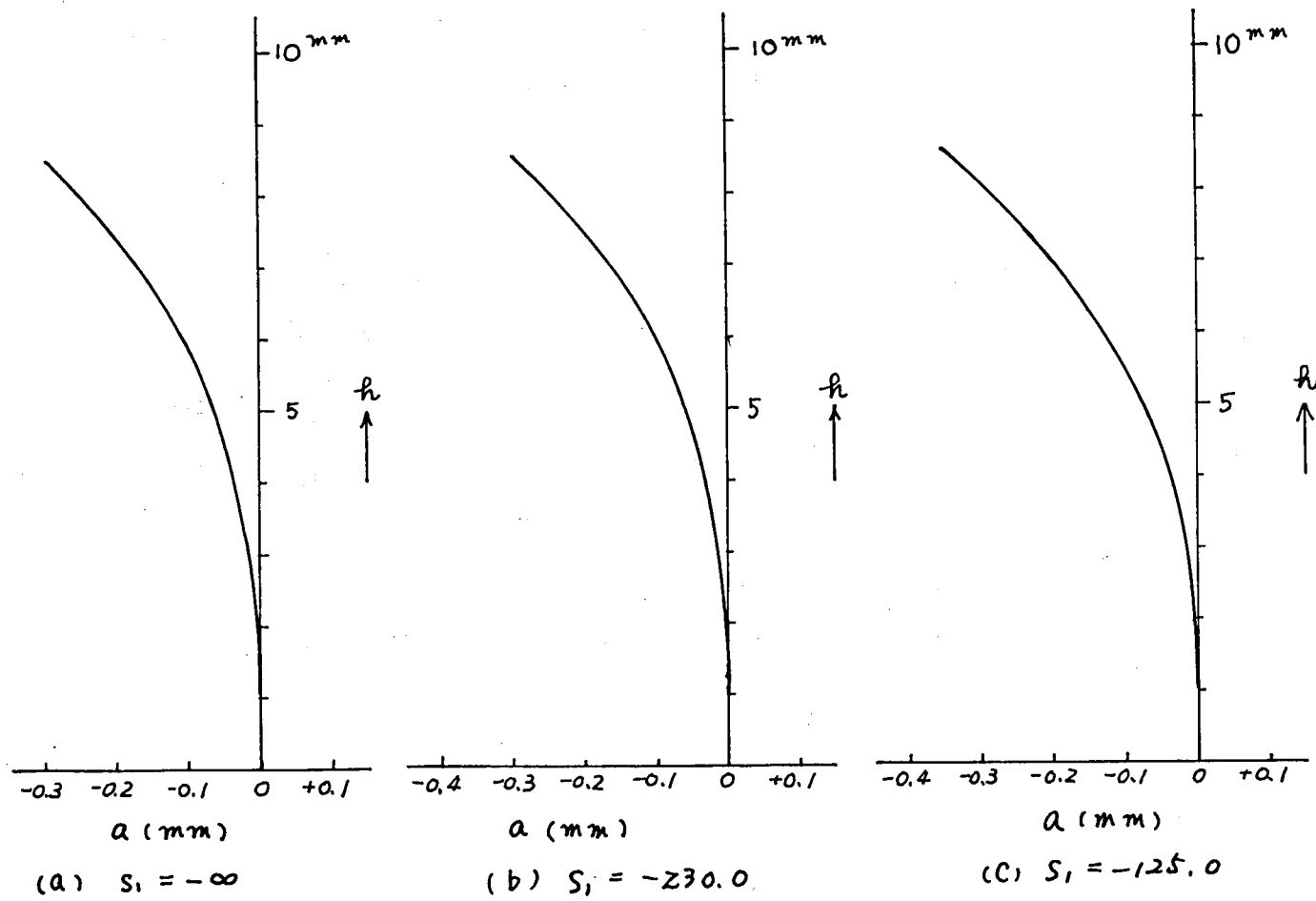


図 4.23 レンズ II のフレア曲線 (d 線)

いまかりに、最終的に得られる画像の中心部の画質を解像度 300 TV 本数ときめる。300 TV 本数は 6.67mm × 5mm の光像上では 30 本/mm の解像度に対応する。^(*)したがってレンズの性能は少なくとも 30 本/mm 以上の解像度をもって光像を結ばせるものでなければならないことがわかる。錯乱円径を 2a とすると限界解像度は $\frac{1}{2a}$ で与えられるから $\frac{1}{2a} \geq 30$ が一つの限界条件となるが、実際には光学的レスポンスの低下を見込んで、光学系自体の限界解像度はもっと高く設定しておくかなくてはならない。そこで $\frac{1}{2a} \geq 50$ をこの場合の条件ときめる。3つのレンズのうち、少なくとも中央の1つはこの条件を満さなければならない。

再び図 4.22 および図 4.23 に返ってレンズ I の場合、 $s_1 = -230.0$ に対して $\frac{1}{2a} \geq 50$ を満すような h を求めると $h \leq 2.6$ となる。またレンズ II の場合、 $s_1 = -125.0$ に対して上記条件を満す h は $h \leq 2.5$ である。口径 D, 焦点距離 f のレンズの明るさを示す F 値は

$$F = \frac{f}{D} \quad (4.16)$$

で与えられ、また $D = 2h$ であるから上記の場合いずれも焦点距離を約 50mm として $F \geq 10$ ということになる。これはリレーレンズとしてはいちじるしく暗い値である。

このように単レンズの場合は、球面収差のみを考えてもトライアッド・リレーレンズを構成するレンズとして不適當であることがわかる。

4.3.2 セメントドダブルットレンズを用いたリレーレンズ

(1) 設計

単レンズについて簡単なレンズはセメントドダブルットレンズである。これは図 4.24 に示すように凹レンズと凸レンズの各一面の曲率半径を等しくし、これらの共通の曲面をバルサムではり合わせたものである。

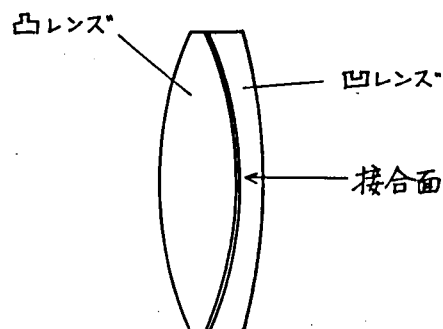


図 4.24 セメントドダブルットレンズ

セメントドダブルットレンズについては Harting によって、無限遠の物点に対して球面収差とコマ収差をよく補正するような条件を与える表が作られている。そこで設計をつぎの手順で行なり。

^(*) TV の解像本数は画面の短辺方向に換算して白黒何本の線まで解像できるかで表わし、白黒を各 1 本ずつに計算する。光学系の解像本数は 1mm あたりに白黒のしま何本まで解像できるかで表わし、白黒 1 対を 1 本と計算する。したがって 300 TV 本数は白黒 150 対を意味し、これが 5mm の短辺に入るときの光学系の解像本数は 30 本/mm となる。

まず設計の方針としては、単レンズの場合と同じく、球面収差の補正に重きをおく。もちろんその際その他の収差の状態を確めて、そのために画質が害されないように留意する。最初にガラス材料を定めてからHartingの表により各球面の曲率半径 r_1, r_2, r_3 を求める。つぎに厚さ d_1, d_2 を適当に定めてから光路追跡を行なって各収差の状況を見る。さらに r_1, r_2, r_3, d_1, d_2 を少しずつ変えて、目的の物点距離にある物体に対してもっとも収差の少ない像を結ぶような最適の値を求める。ただし実際には本節初頭に述べた制限事項のために、数組のデータを比較するにとどまる。光路追跡計算は前項で述べたと同じ手順により、デジタル計算機HIPAC103を用いて計算した。

最初にガラス材料を選択した。色収差を除くためにはダブルットを構成する凸レンズに分散の小さいレンズ、凹レンズに分散の大きいレンズを用いなければならない。球面収差を除くためには凸レンズの屈折率を、凹レンズの屈折率に比べて小さくしなければならないが、その差が大きいと非点収差と像面彎曲が大きくなるから、これを避けるためには凸レンズの屈折率をある程度大きくとらなければならない。このためにバリウムクラウン系のガラスが好適である。以上を考慮して、凸レンズ材料としてBaK1 ($n_d = 1.5725, \nu = 57.5$)、凹レンズ材料としてF2 ($n_d = 1.6200, \nu = 36.3$)を選んだ。

ダブルットレンズの形式としては、凸レンズを前方におくか、凹レンズを前方におくかで、図4.25(a), (b)に示す2つの形が考えられる。後者はガウス型対物鏡とよばれるものである。

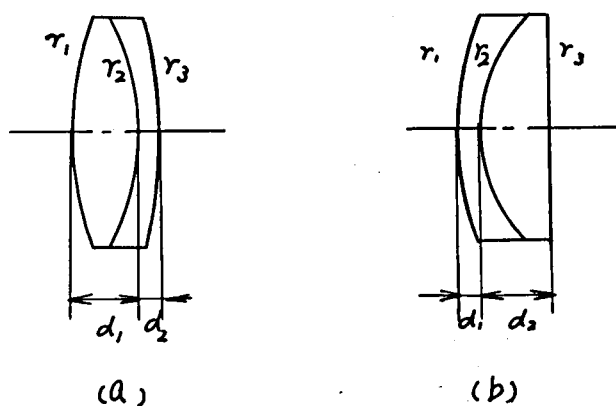


図4.25 セメントドダブルットの二つの形式

最初に計算を試みたのは(a)の形式であった。Hartingの表から、 $f = 50\text{mm}$ として、 $r_1 = 31.95$ 、 $r_2 = -16.56$ 、 $r_3 = -124.38$ と求められる。小数点以下を揃えて $r_1 = 32.0$ 、 $r_2 = -16.5$ 、 $r_3 = -125.0$ とし、 $d_1 = 3.5$ 、 $d_2 = 1.0$ としてこのレンズをレンズⅢとし、レンズⅢについて光路追跡計算を行なった結果を図4.26～図4.29に示す。図4.26は球面収差曲線、図4.27は非点収差と像面彎曲を示す曲線、図4.28は歪曲収差曲線、図4.29はフレア曲線である。

この曲線からすると $s_1 = -125.0$ に対してはまだかなり球面収差の補正不足である。そこでbending^(*)によりこれを補正し、物点距離 $s_1 = -125.0\text{mm}$ の物点に対して球面収差が小さくなるようなレンズを求め、これをレンズⅣとした。レンズⅣについての光路追跡の結果を図4.30～図4.33に示す。非点収差と像面彎曲については補正困難である。その理由はつぎのようにしてわかる。

(*) 厚み、曲率半径などを少しずつ変えて最良条件を求めていく手続をbendingという。

$$\begin{aligned}
 r_1 &= 32.0 & d_1 &= 3.5 \\
 r_2 &= -16.5 & d_2 &= 1.0 \\
 r_3 &= -125.0 & f &= 50.40
 \end{aligned}$$

——— d 線
 - - - - c 線
 - - - - F 線

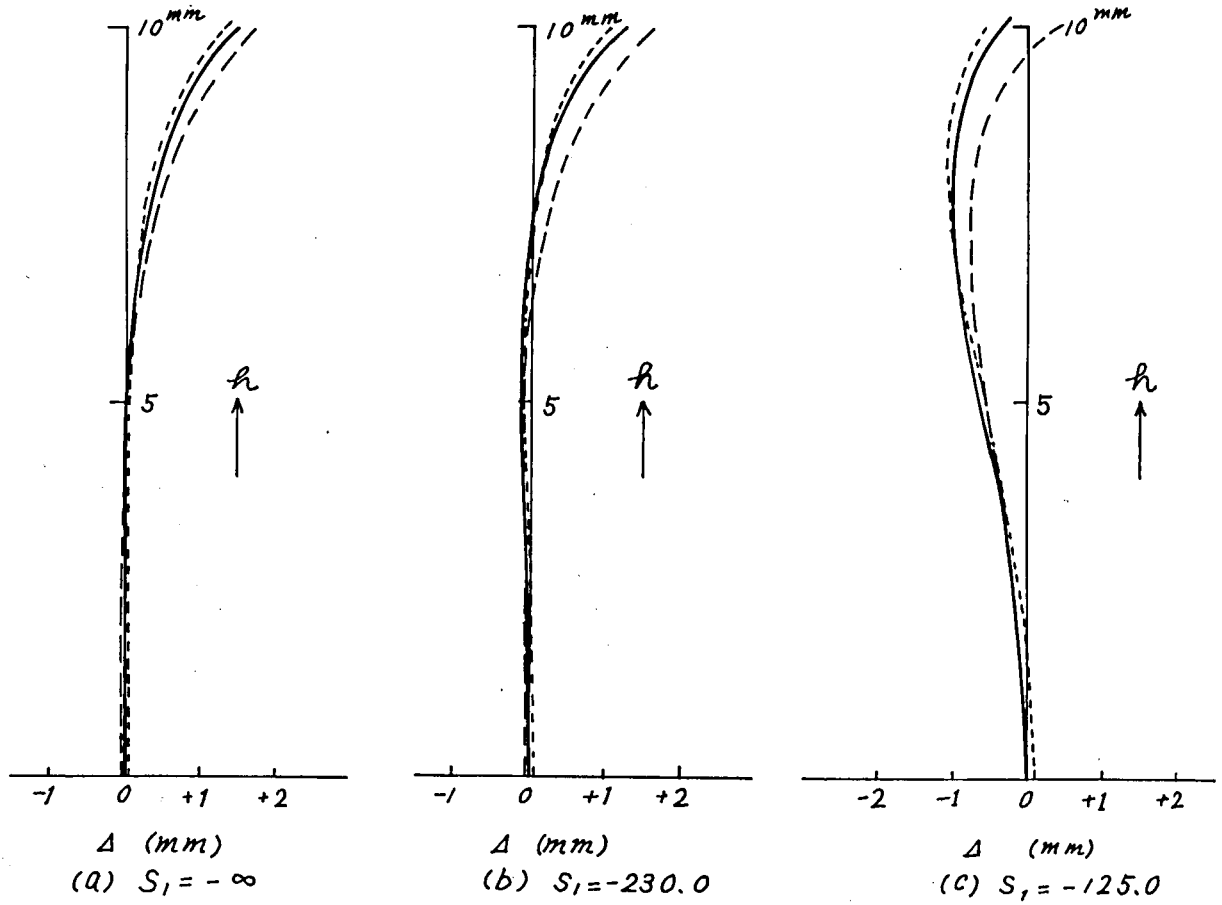


図 4.26 レンズ II の球面収差

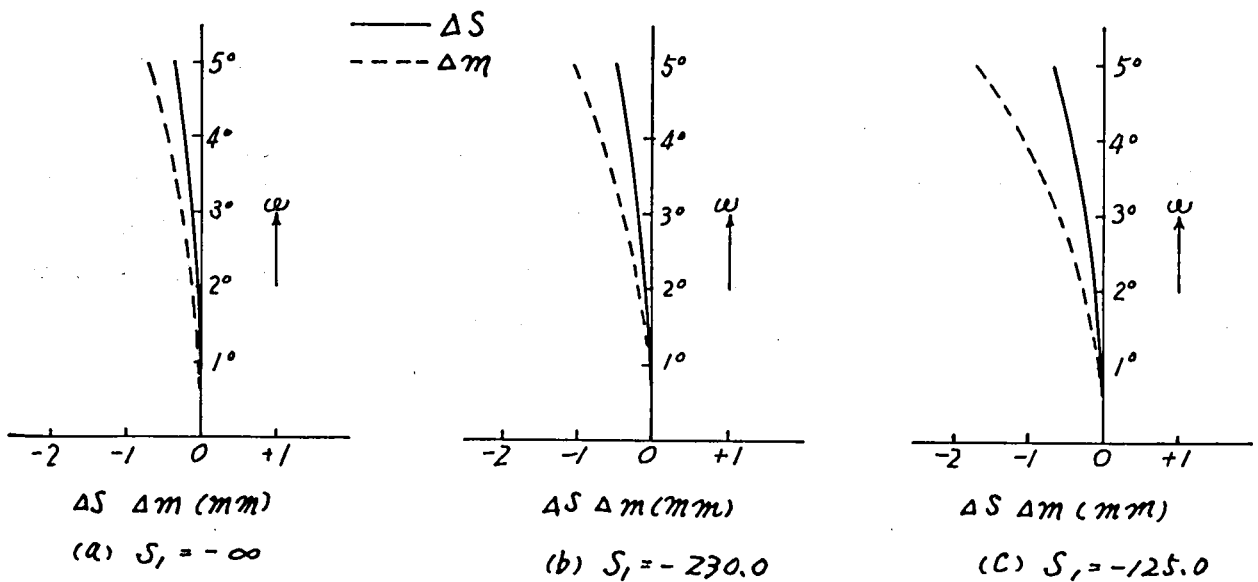


図 4.27 レンズ II の非点収差

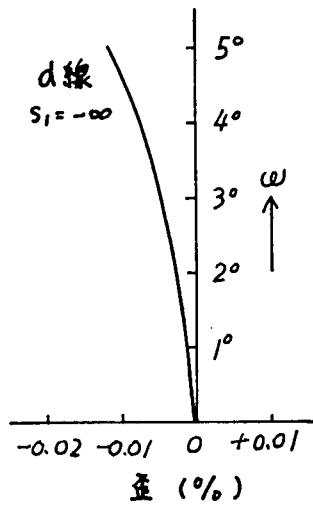


図 4.28 レンズⅡの歪曲収差

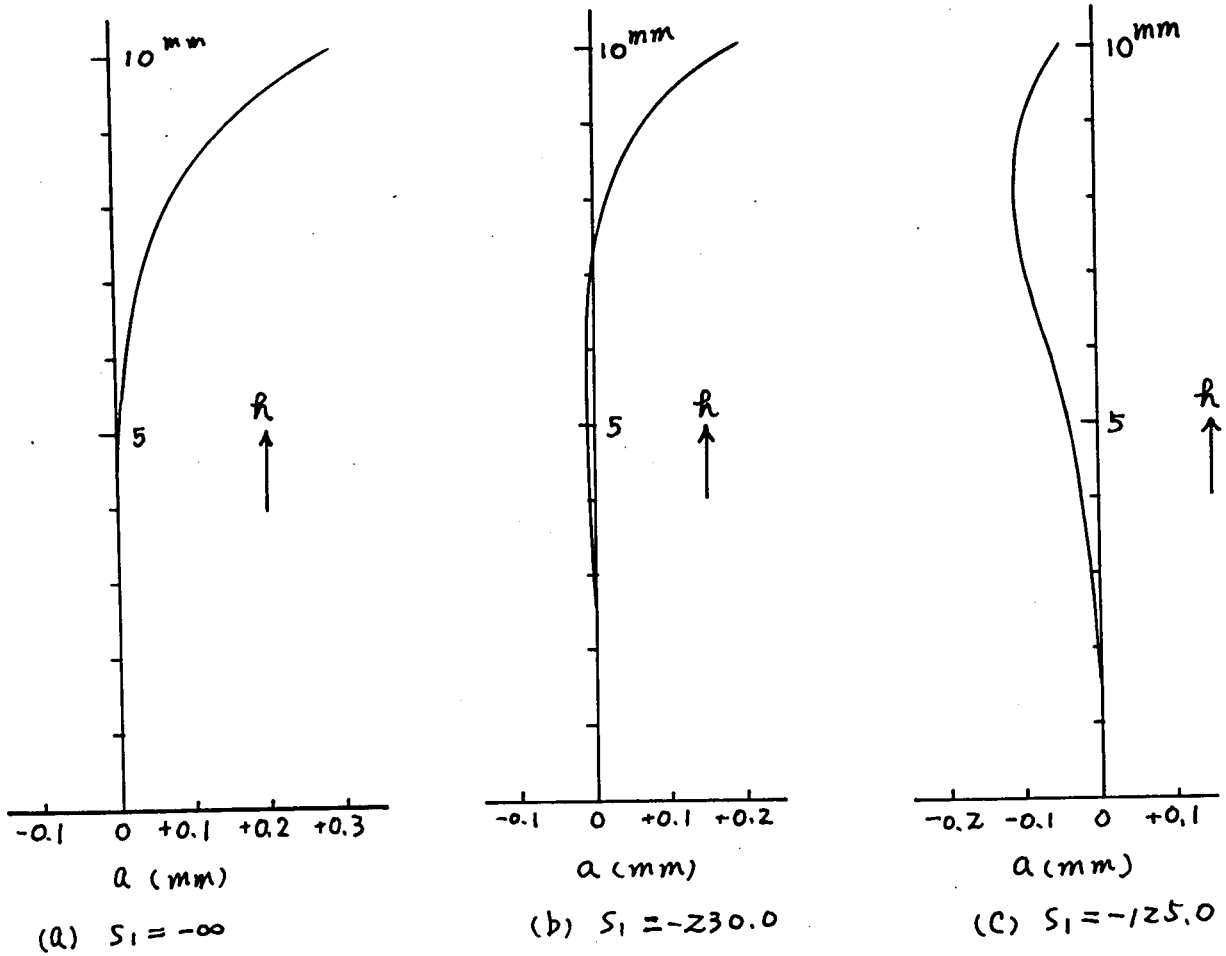


図 4.29 レンズⅡのフレア曲線 (d線)

$$r_1 = 32.0$$

$$r_2 = -14.5$$

$$r_3 = -116.0$$

$$d_1 = 3.5$$

$$d_2 = 1.0$$

$$f = 50.44$$

— d線
 - - - c線
 - - - F線

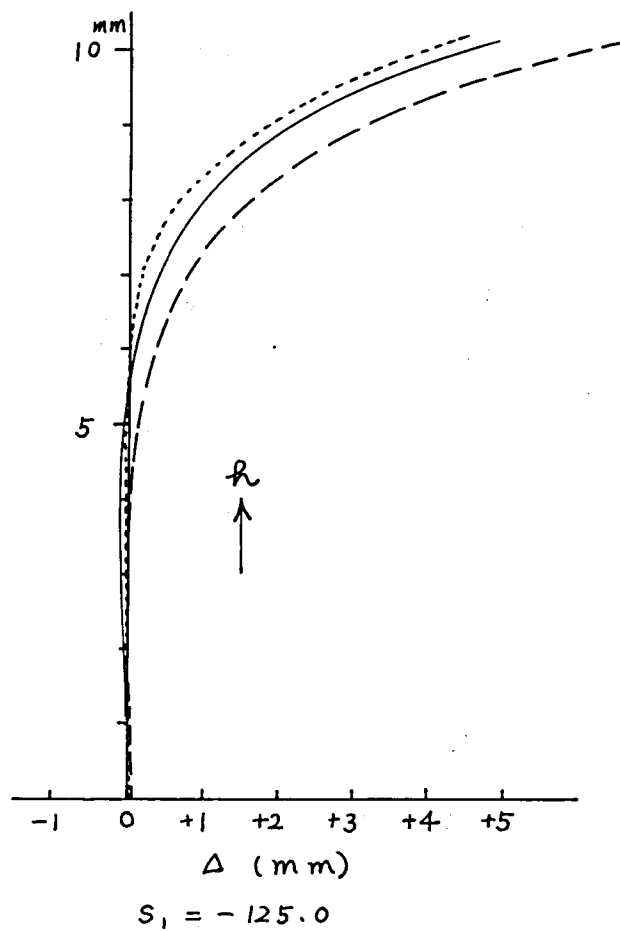
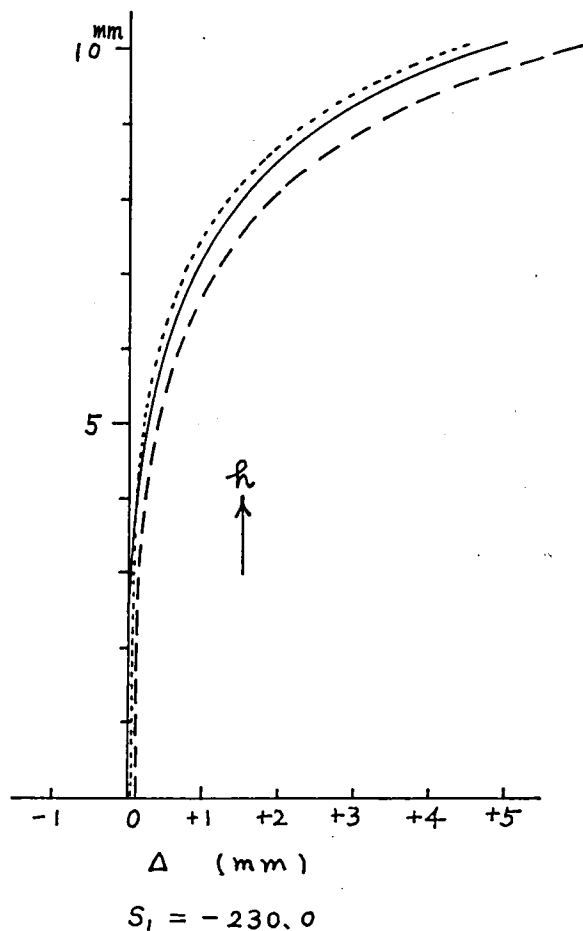
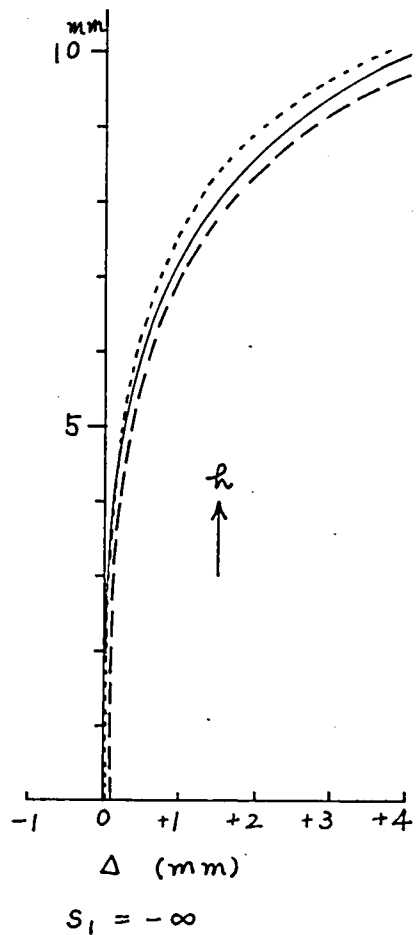


図 4.30 レンズⅣの球面収差

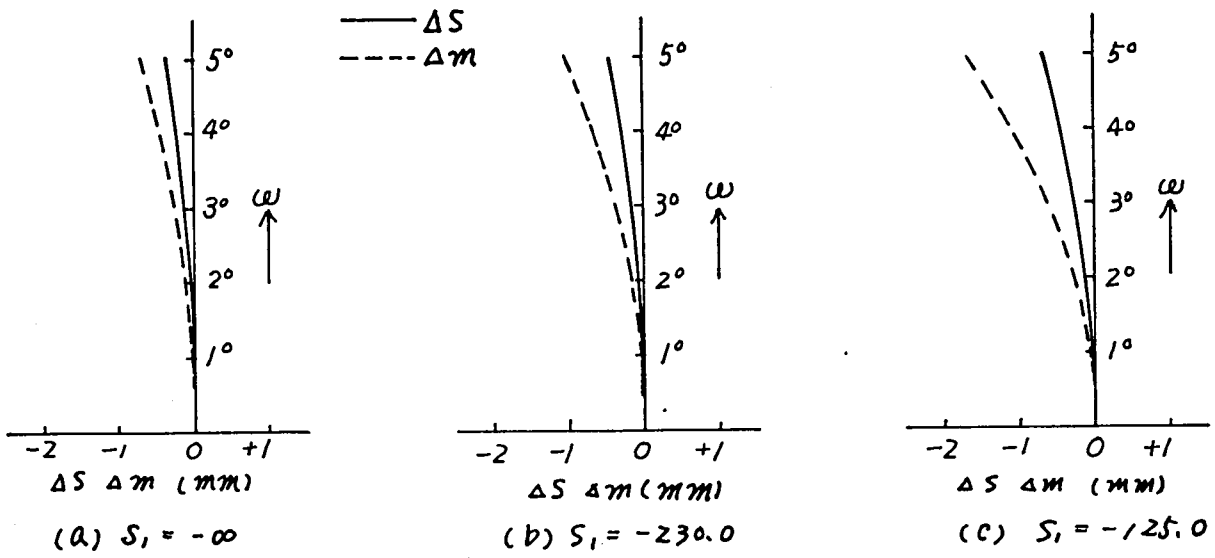


図 4.31 レンズⅣの非点収差

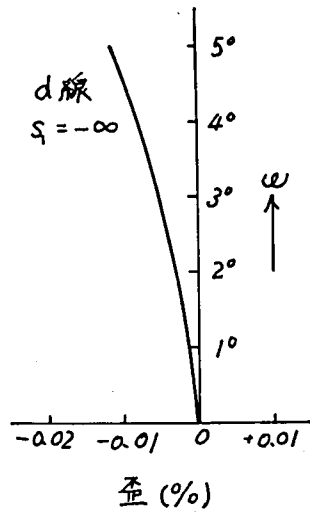


図 4.32 レンズⅣの歪曲収差

$r_1 = 32.0$ $d_1 = 3.5$
 $r_2 = -14.5$ $d_2 = 1.0$
 $r_3 = -116.0$ $f = 50.44$ d 線

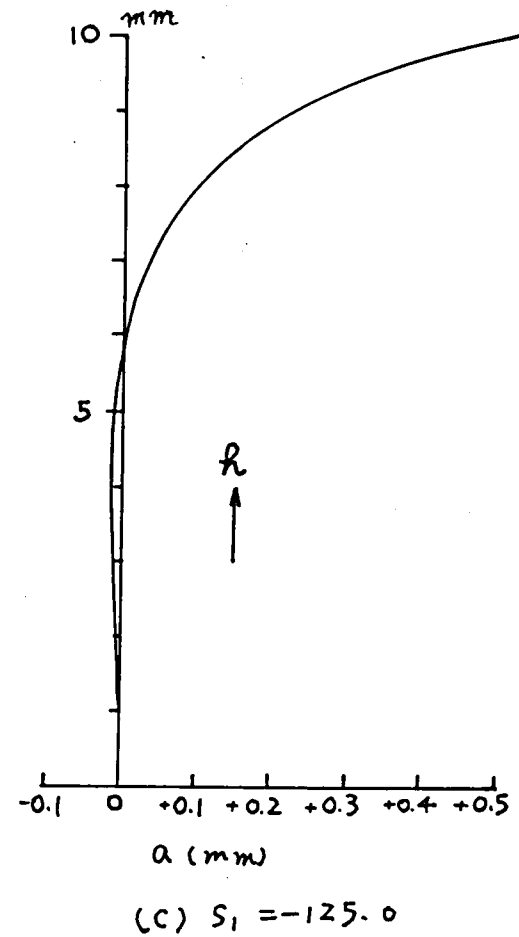
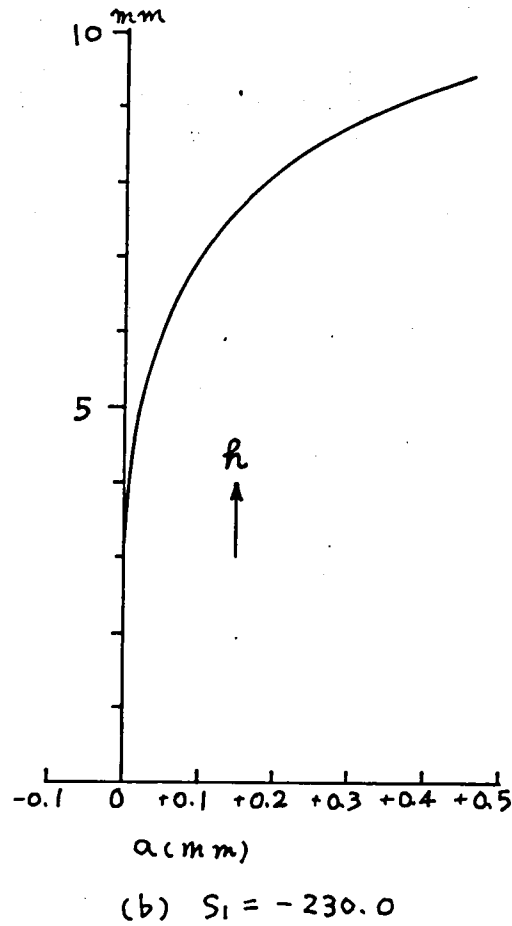
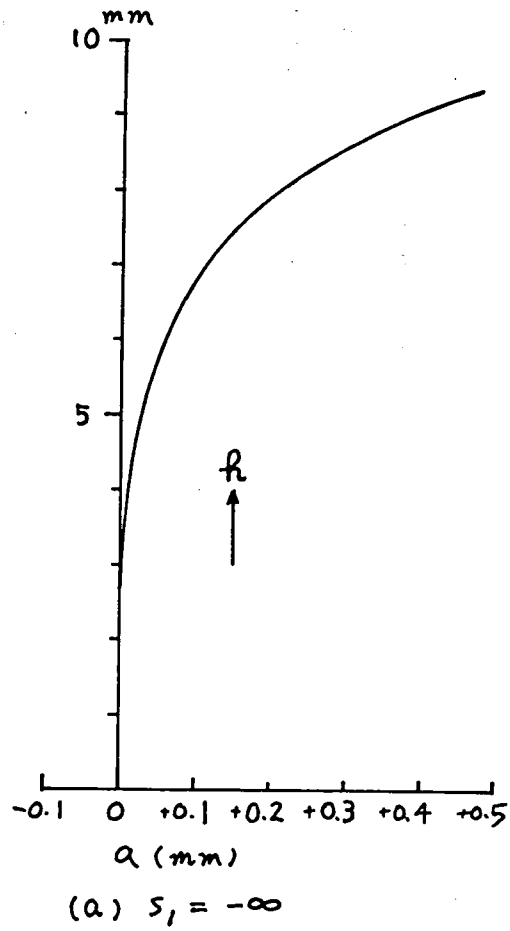


図 4.33 レンズⅣのフレア曲線

すなわち像面彎曲を小さくするためにはつぎの Petzval 条件を満足しなければならない。

$$\frac{1}{n_1 f_1} + \frac{1}{n_2 f_2} = 0 \quad (4.17)$$

ここで n_1 : 第 1 レンズのガラスの屈折率

n_2 : 第 2 レンズのガラスの屈折率

f_1 : 第 1 レンズの焦点距離

f_2 : 第 2 レンズの焦点距離

第 1 レンズと第 2 レンズの合成焦点距離 f は 2 つのレンズが近接している場合には

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{f_1} + \frac{1}{f_2} \quad (4.18)$$

で与えられるから、式 (4.17) と式 (4.18) から、

$$\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) \frac{1}{f_1} + \frac{1}{n_2 f} = 0 \quad (4.19)$$

したがって $f > 0$, $f_1 > 0$ なら $\left(\frac{1}{n_1} - \frac{1}{n_2} \right) < 0$, $\therefore n_1 > n_2$ でなければならない。すなわち凸レンズの材料の屈折率を凹レンズのそれより大きくせねばならない。この場合、球面収差はまったく補正不足となる。ダブルットレンズでは球面収差を補正しようとするれば本質的に像面彎曲の補正はできない。

つぎに形式(b)のいわゆる Gauss 型対物鏡を検討した。まず Harting の表から $r_1 = 25.10$, $r_2 = 10.60$, $r_3 = 214.0$ と求まる。 r_3 は大きいからこれを ∞ とし、bending κ より、 r_1 , r_2 , d_1 , d_2 の適当な値を求めた。このレンズをレンズ V とした。光路追跡結果を図 4.34 ~ 図 4.37 に示す。

(2) 考察

図 4.33 および図 4.37 からレンズ IV およびレンズ V について $a \leq 0.01$ の範囲はおよそ $h \leq 6$, すなわち口径 12mm 以下であることがわかる。この口径一杯に使ったとして $F = f/D \doteq 4.2$, 切断により明るさが半分になるとして $4.2 \times \sqrt{2} \doteq 6$, すなわち F 値 6 のレンズが得られることになる。このレンズは明るいものではないが、実用性のある明るさである。したがってレンズ IV, V はともにトライアッド・リレーレンズとして使うことができることが結論された。

この設計のほか Olympus 光学工業株式会社に 1 種類ダブルットレンズの設計製作を依頼した。このレンズは図 4.25 (b) の形式のもので、 $r_1 = 24$, $r_3 = -103.9$, $d_1 + d_2 = 3.3$, $f = 46.26$ と設計されている。レンズの材質, r_2 等に関しては不明である。このレンズをレンズ VII とした。

4.4 フィールドレンズの設計

被写体から発して撮影レンズ L にとらえられた光線は、結像面に像を結んだ後、図 4.38 破線に示すように発散する。このように発散した光線をとらえるためにはリレーレンズの口径がいちじるしく大きくなければならない。リレーレンズの口径が小さいと画角が 0 に近い画面中央部のみ明るく、周辺は全く暗くなってしまふ。これを解決するためにフィールドレンズ F を用いて、破線のように発散

$$r_1 = 25.5 \quad d_1 = 1.0$$

$$r_2 = 10.5 \quad d_2 = 3.5$$

$$r_3 = \infty$$

$$f = 50.38$$

— d 線
 - - - C 線
 - - - F 線

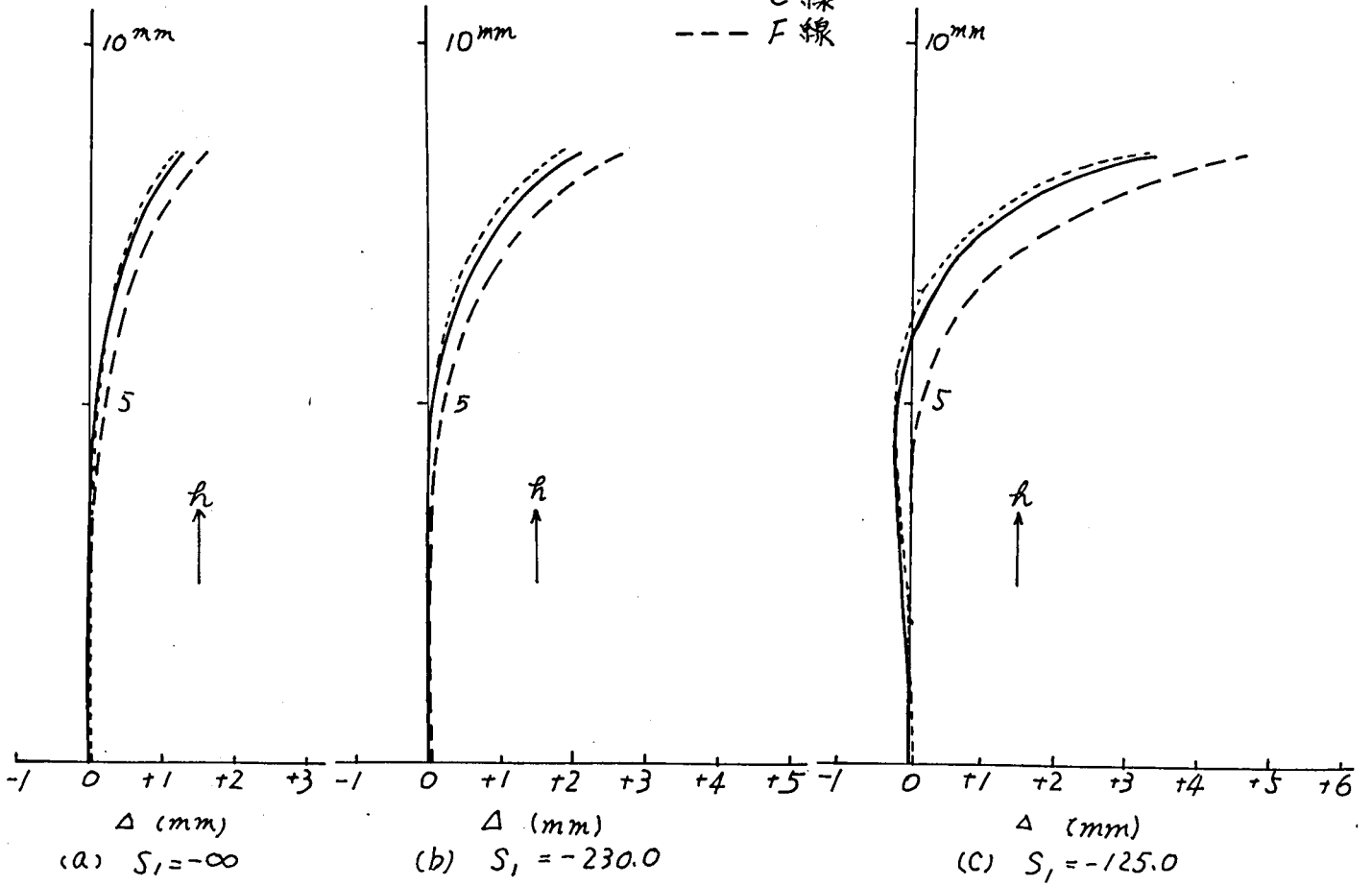


図 4.34 レンズ V の球面収差

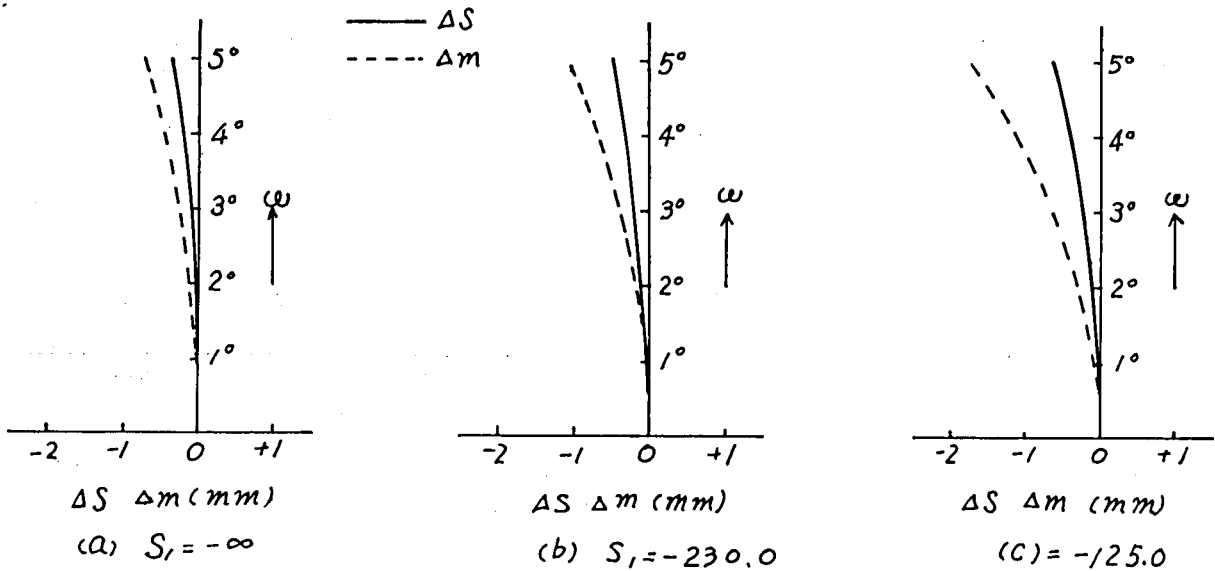


図 4.35 レンズ V の非点収差

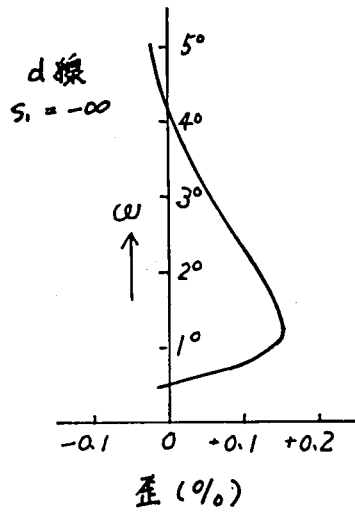


図 4.36 レンズ V の歪曲収差

$r_1 = 25.5$
 $r_2 = 10.5$
 $r_3 = \infty$
 $d_1 = 1.0$
 $d_2 = 3.5$

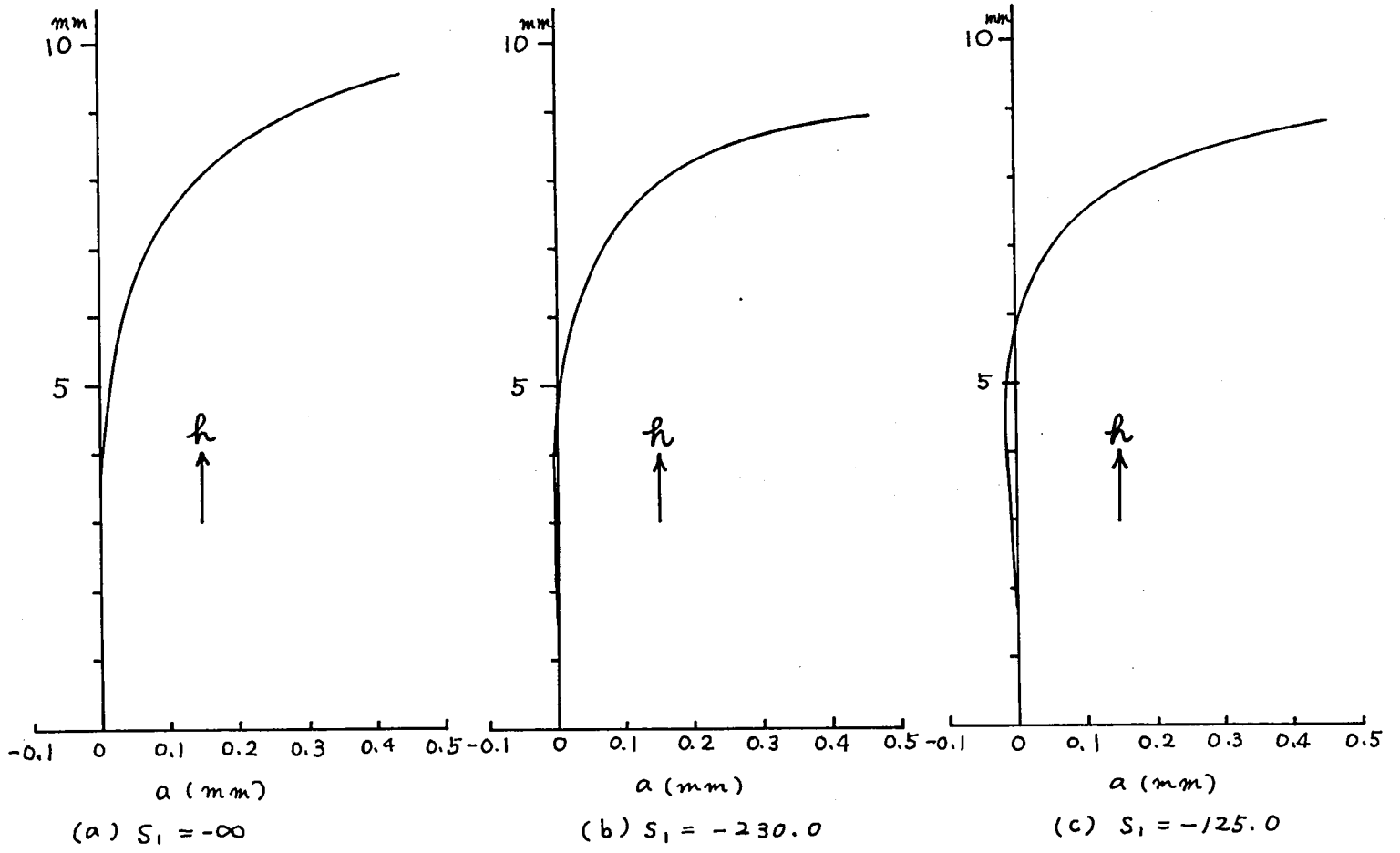


図 4.37 レンズ V のフレア曲線 (d線)

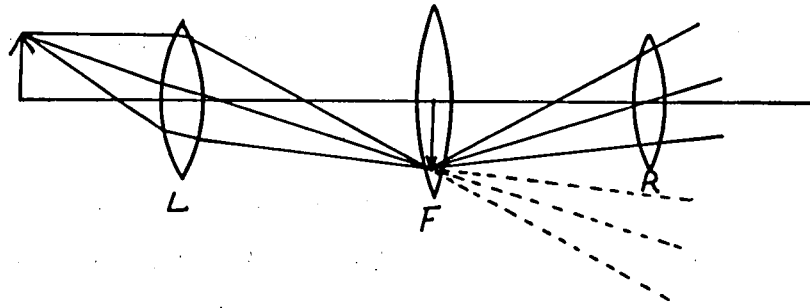


図 4.38 フィールドレンズの働き

しようにする光線を屈折してリレーレンズ R に向ってたたみ込むようにする。すなわち撮影レンズによる第 1 結像面をフィールドレンズの前側主点面に一致させると、この像は後側主点面に倍率 1 で再結像し、ここから実線のように光束が発散する。この光束をリレーレンズでとらえ、撮像管光電面上に結像させる。このようにするとリレーレンズの口径比は撮影レンズの口径比より小さくありさえすればよい。

フィールドレンズの設計方針としては、撮影レンズの絞りをリレーレンズの絞りの上に投影するようにする。⁵⁴⁾ このためには、フィールドレンズの前側主点 H_1 と撮影レンズの射出瞳との間の距離 a_F 、フィールドレンズの後側主点 H_2 とリレーレンズの入射瞳との間の距離 b_F 、フィールドレンズの焦点距離 f_F の間の関係を

$$\frac{1}{a_F} + \frac{1}{b_F} = \frac{1}{f_F} \quad (4.20)$$

のように保てばよい。この関係は図 4.39 から理解することができる。ただし図 4.39 ではすべてレンズは薄いとし、絞りの位置はレンズの位置に一致するものとしてある。図から、撮影レンズの絞りの中心 A を通る光線すなわち主光線がリレーレンズの絞りの中心 B を通るように、フィールドレンズを配置するのが最適であることがわかる。これはすなわち A を B に投影することにほかならない。

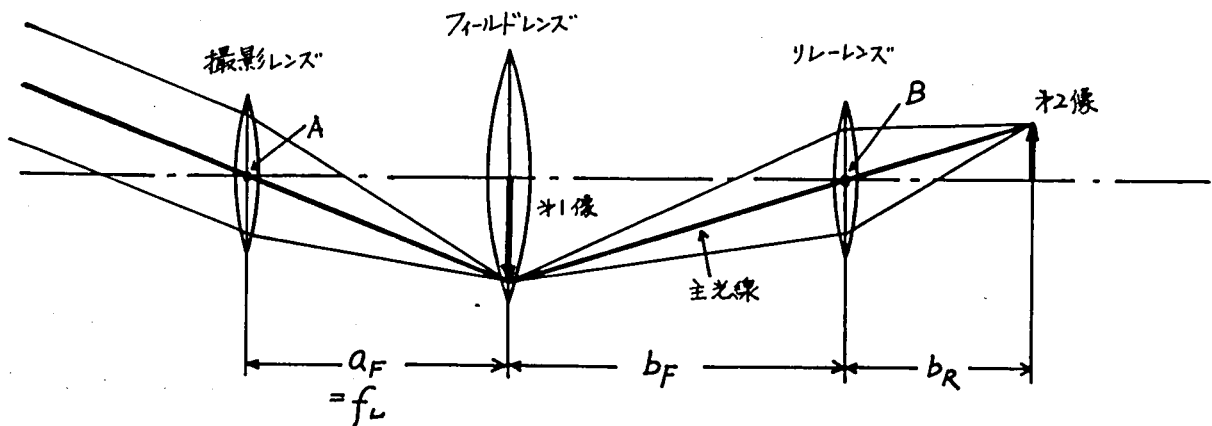


図 4.39 撮影レンズ、リレーレンズとフィールドレンズの関係

撮影レンズの射出瞳と結像面との距離 a_F は厳密には撮影レンズごとに異なるが、図からわかるようにこれはおよそ撮影レンズの焦点距離 f_L に等しいと考えてよい。またリレーレンズとしてセメントドダブルットのような簡単なレンズを使いとすれば、 b_F は近似的に H_2 とリレーレンズ前面間の距離と考えて差支えない。

このように考えて前節のレンズ V をリレーレンズとして採用することになれば $b_F = 125.95$ となり、式 (4.20) より撮影レンズの焦点距離 f_L を与えたときの、フィールドレンズの焦点距離が表 4.3 のように求まる。このように本来撮影レンズを交換する際には、フィールドレンズも交換すべきである。しかし機構の簡便を考えるとときはフィールドレンズは固定使用しても可であり、その場合には f_L として 16mm 映画または一般 C C T V で標準とされる 25mm を採るのが妥当である。こうして $f_F = 20.9\text{mm}$ と決定された。

表 4.3 撮影レンズの焦点距離とフィールドレンズの焦点距離の関係

撮影レンズの 焦点距離 (mm)	フィールドレンズの 焦点距離 (mm)
13	11.8
25	20.9
50	35.8
75	47.0
100	55.8

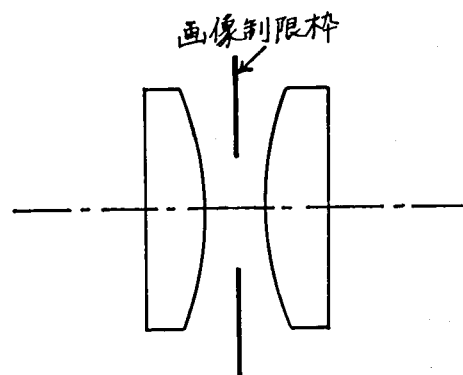


図 4.40 フィールドレンズの構成

一般のカラー TV カメラにおいては、フィールドレンズとして両凸の単レンズが用いられることが多いが、トライアッド式光学系においてはリレーレンズが見込む画角をあらかじめマスクで制限しておく必要があるため、マスク挿入の便のため、図 4.40 のような平凸レンズ 2 枚を向き合わせた構成をとることとした。この場合曲面の曲率半径 r_2 は

$$r_2 \doteq 2 f_F (n - 1) \quad (4.21)$$

から計算される。ガラス材料としてBK 7を選ぶと $n_d = 1.5163$ であるから、これを上式 n に入れて $r_2 = 21.5\text{mm}$ と求められる。さらに各レンズの厚さを 4.0mm 、両レンズ間の間隔を 4.0mm ときめると、近軸光線の追跡計算から、主点位置は各レンズの端面から 4.75mm と求められる。

4.5 三色分解用フィルタの設計

4.5.1 分光特性の計算⁵⁵⁾

いま受像機の三原色をとり、その単位量をそれぞれ $[R']$ 、 $[G']$ 、 $[B']$ ⁽⁵⁶⁾ とする。三原色の単位量とは、これら三原色を加え合わせて基準とする白色をつくるために必要な、それぞれの原色の量である。被写体の色を $[F]$ とするとこの色は上記三原色をそれぞれ R' 、 G' 、 B' なる量だけとって混ぜ合わすことによって等色できる。これを式で表わせば

$$[F] = R' [R'] + G' [G'] + B' [B'] \quad (4.22)$$

となる。被写体の分光反射率を $\rho(\lambda)$ 、被写体を照明する光源の分光エネルギー分布を $P(\lambda)$ とすれば、

$$\left. \begin{aligned} R' &= \int P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{r}_{\lambda}' d\lambda \\ G' &= \int P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}_{\lambda}' d\lambda \\ B' &= \int P(\lambda) \rho(\lambda) \bar{b}_{\lambda}' d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4.23)$$

であたえられる。ここで \bar{r}_{λ}' 、 \bar{g}_{λ}' 、 \bar{b}_{λ}' は上記受像三原色を原色とする表色系におけるスペクトル三刺激値、すなわち、波長 λ なる単色光を等色するために必要な三原色の量である。

つぎに赤、緑、青各チャンネルに対するカメラの分光感度すなわち撮像特性を $S_R(\lambda)$ 、 $S_G(\lambda)$ 、 $S_B(\lambda)$ とすれば、上記の被写体に対する、各チャンネルにおけるカメラからの出力信号は

$$\left. \begin{aligned} E_R &= \int P(\lambda) \rho(\lambda) S_R(\lambda) d\lambda \\ E_G &= \int P(\lambda) \rho(\lambda) S_G(\lambda) d\lambda \\ E_B &= \int P(\lambda) \rho(\lambda) S_B(\lambda) d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

となる。カメラに光が入射するところから、受像管が発光するところまでの系全体が直線的であるとすると、被写体の色を測色学的に忠実に再現するためにはカメラの出力信号が被写体の色の三刺激値 R' 、 G' 、 B' に比例することが必要である。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} E_R &= k_1 R' \\ E_G &= k_1 G' \\ E_B &= k_1 B' \end{aligned} \right\} \quad (4.25)$$

ただし k_1 : 比例定数

(4.25) が $P(\lambda)$ 、 $\rho(\lambda)$ に無関係に成り立つためには

(56) $[\quad]$ をつけたのは C I E 三原色の $[R]$ 、 $[G]$ 、 $[B]$ と区別するためである。

$$\left. \begin{aligned} S_R(\lambda) &= k_2 \bar{r}'_{\lambda} \\ S_G(\lambda) &= k_2 \bar{g}'_{\lambda} \\ S_B(\lambda) &= k_2 \bar{b}'_{\lambda} \end{aligned} \right\} \quad (4.26)$$

ただし k_2 : 比例定数

でなければならない。すなわちカメラの分光感度（撮像特性）をスペクトル三刺激値に比例させることが必要である。

つぎにカメラの分光感度は撮像管の分光感度 $S(\lambda)$ と三色分解光学系の分光特性 $T_R(\lambda)$, $T_G(\lambda)$, $T_B(\lambda)$ の積に比例するから、

$$\left. \begin{aligned} T_R(\lambda) &= k_3 \frac{S_R(\lambda)}{S(\lambda)} \\ T_G(\lambda) &= k_3 \frac{S_G(\lambda)}{S(\lambda)} \\ T_B(\lambda) &= k_3 \frac{S_B(\lambda)}{S(\lambda)} \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

ただし k_3 : 比例定数

で与えられる。さらに図 4.11 に示したように赤外線遮断フィルタを光路途中に挿入する場合はその分光透過率を $T_F(\lambda)$ とし、三色分解用フィルタの分光透過特性を

$$\left. \begin{aligned} T'_R(\lambda) &= k_4 \frac{S_R(\lambda)}{S(\lambda) T_F(\lambda)} \\ T'_G(\lambda) &= k_4 \frac{S_G(\lambda)}{S(\lambda) T_F(\lambda)} \\ T'_B(\lambda) &= k_4 \frac{S_B(\lambda)}{S(\lambda) T_F(\lambda)} \end{aligned} \right\} \quad (4.28)$$

としなければならない。

分光エネルギー分布が $P'(\lambda)$ なる照明光源で前記被写体を照明したときの被写体の色の三刺激値 R'' , G'' , B'' は (4.23) を書きかえて

$$\left. \begin{aligned} R'' &= \int P'(\lambda) \rho(\lambda) \bar{r}'_{\lambda} d\lambda \\ G'' &= \int P'(\lambda) \rho(\lambda) \bar{g}'_{\lambda} d\lambda \\ B'' &= \int P'(\lambda) \rho(\lambda) \bar{b}'_{\lambda} d\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4.29)$$

となる。これに対して被写体を分光エネルギー分布が $P(\lambda)$ なる光源で照明したときのカメラ出力信号は式 (4.24) で与えられている。そこでこのことから、被写体を分光組成 $P'(\lambda)$ なる光源で照明しながらあたかも分光組成が $P(\lambda)$ なる光源で照明されたかのごとき出力信号を得るためには

$$\left. \begin{aligned} E_R &= k_5 R'' \\ E_G &= k_5 G'' \\ E_B &= k_5 B'' \end{aligned} \right\} \quad (4.30)$$

ただし k_5 : 比例定数

が成立せねばならないことがわかる。そのためには撮像特性を

$$\left. \begin{aligned} S_R(\lambda) &= k_6 \frac{P(\lambda)}{P'(\lambda)} \bar{r}'_\lambda \\ S_G(\lambda) &= k_6 \frac{P(\lambda)}{P'(\lambda)} \bar{g}'_\lambda \\ S_B(\lambda) &= k_6 \frac{P(\lambda)}{P'(\lambda)} \bar{b}'_\lambda \end{aligned} \right\} \quad (4.31)$$

ただし k_6 : 比例定数

としなければならない。この場合の三色分解系の分光特性は式(4.27)または式(4.28)に式(4.31)の $S_R(\lambda)$, $S_G(\lambda)$, $S_B(\lambda)$ を入れて求められる。

最後に、受像三原色に関する表色系におけるスペクトル三刺激値 \bar{r}'_λ , \bar{g}'_λ , \bar{b}'_λ はつぎのようにして求められる。すなわちXYZ表色系における受像三原色の色度をそれぞれ (x_R, y_R, z_R) , (x_G, y_G, z_G) および (x_B, y_B, z_B) とし、基準とする白色の三刺激値を X_W, Y_W, Z_W とすると

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}'_\lambda &= \frac{\bar{x}_\lambda \cdot \Delta_{11} - \bar{y}_\lambda \cdot \Delta_{21} + \bar{z}_\lambda \cdot \Delta_{31}}{X_W \cdot \Delta_{11} - Y_W \cdot \Delta_{21} + Z_W \cdot \Delta_{31}} \\ \bar{g}'_\lambda &= \frac{-\bar{x}_\lambda \cdot \Delta_{12} + \bar{y}_\lambda \cdot \Delta_{22} - \bar{z}_\lambda \cdot \Delta_{32}}{-X_W \cdot \Delta_{12} + Y_W \cdot \Delta_{22} - Z_W \cdot \Delta_{32}} \\ \bar{b}'_\lambda &= \frac{\bar{x}_\lambda \cdot \Delta_{13} - \bar{y}_\lambda \cdot \Delta_{23} + \bar{z}_\lambda \cdot \Delta_{33}}{X_W \cdot \Delta_{13} - Y_W \cdot \Delta_{23} + Z_W \cdot \Delta_{33}} \end{aligned} \right\} \quad (4.32)$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} x_R & x_G & x_B \\ y_R & y_G & y_B \\ z_R & z_G & z_B \end{vmatrix}$$

ただし式(4.32)の \bar{x}_λ , \bar{y}_λ , \bar{z}_λ はXYZ表色系におけるスペクトル三刺激値である。

以上の計算を遂行するにあたってはあらかじめ三原色の色度、および基準白色の三刺激値または色度と輝度をきめる必要がある。CCTVの場合は、これらの値は如何ようにきめてもよいわけであるが、標準TV方式との相互変換の可能性を残すためにはNTSC方式に準拠するのが有利であるから同方式に定められた値を採用することにする。NTSC方式では、三原色の色度は

$$R \begin{cases} x_R = 0.67 \\ y_R = 0.33 \end{cases} \quad G \begin{cases} x_G = 0.21 \\ y_G = 0.71 \end{cases} \quad B \begin{cases} x_B = 0.14 \\ y_B = 0.08 \end{cases} \quad (4.33)$$

と定められ、また基準白色は $x_W = 0.3101$, $y_W = 0.3163$ の標準の光Cと定められている。基準白色の輝度は定められていないから、便利のためにこれを1とおくと $Y_W = 1$, さらに $\frac{x_W}{X_W} = \frac{y_W}{Y_W} = \frac{z_W}{Z_W} = \text{const}$ であるから $X_W = 0.982$, $Z_W = 1.178$ となる。これらの値を式(4.32)に入れ、 \bar{x}_λ , \bar{y}_λ , \bar{z}_λ の値を与えると各波長 λ におけるスペクトル三刺激値 \bar{r}'_λ , \bar{g}'_λ , \bar{b}'_λ が図4.41のように求められる。さきに述べたところからこれはまた標準の光Cで照明された被写体に対する必要な撮像特性であるが、図からわかるようにこれは負の部分を持っている。撮像装置の分光特性としてこのように負の

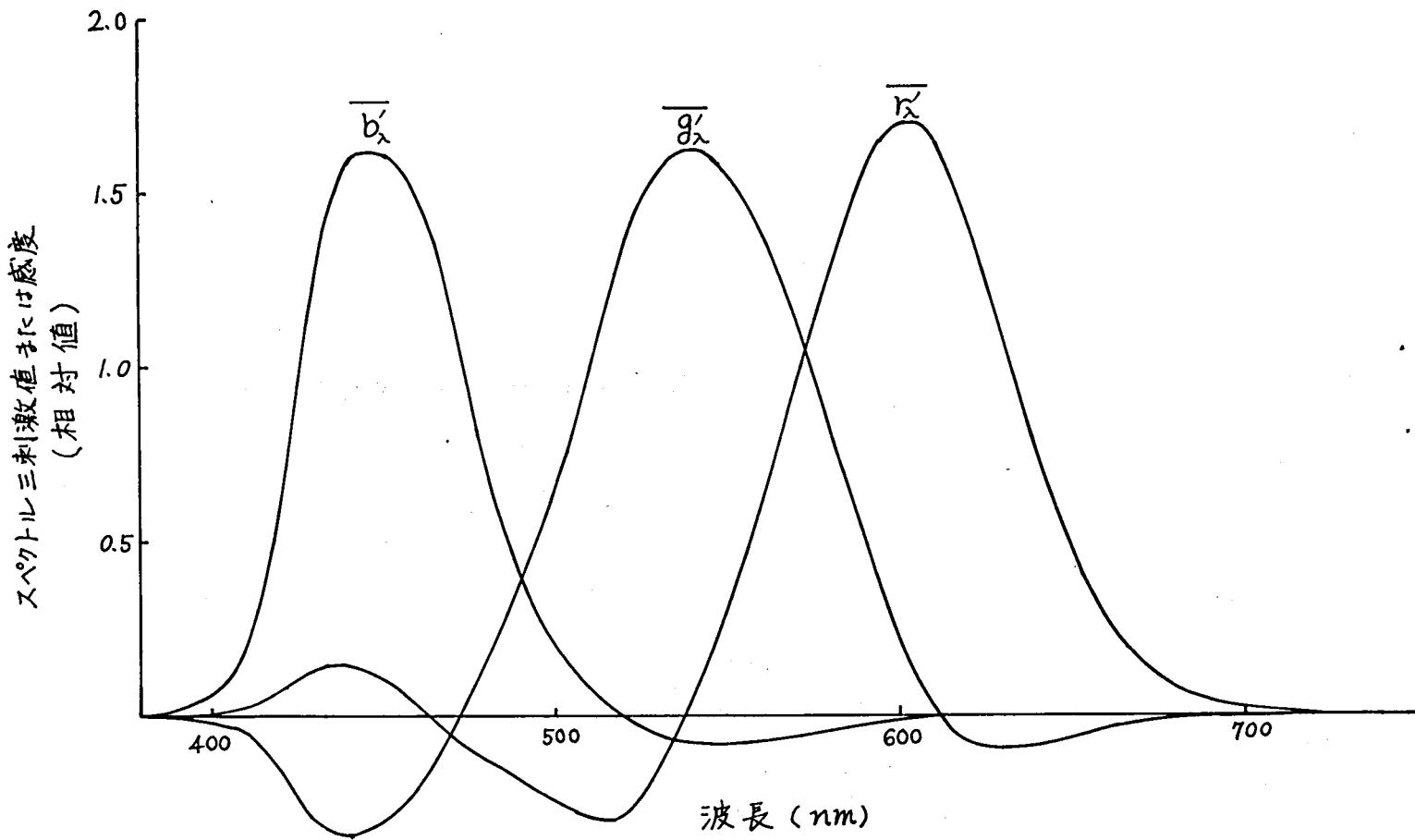


図 4.41 スペクトル三刺激値または撮像装置に要求される分光感度特性

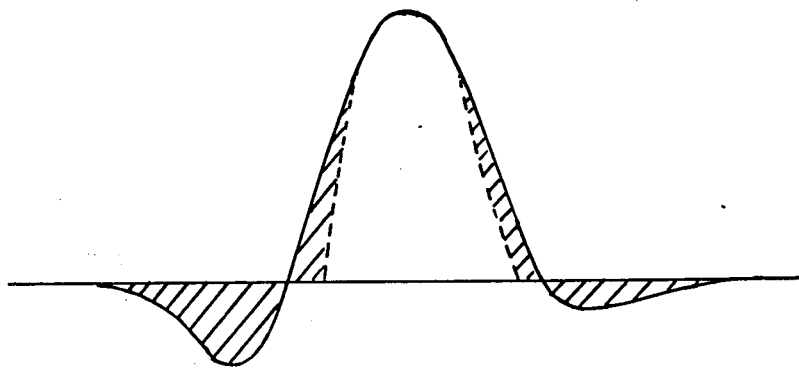


図 4.42 撮像特性の近似。負部分に等しい面積を正部分から削る。

部分を持たせることは現実には実現困難であって、何らかの近似が必要となる。一般に行なわれる近似は図 4.42 に示すように負の部分に等しい面積を正の裾の部分から削り取る方法である。

CC TV としての実用面から考えると、被写体に対する照明用光源として白熱電球が用いられる場合が多いと考えるのが妥当である。しかもこの場合、受像面における白色は標準の光 C であるべきである。この場合の撮像特性は先に述べたように式 (4.31) から計算される。さらに撮像管の分光感度特性 $S(\lambda)$ を図 4.43 のようであると、光路途中に図 4.44 のような分光透過特性を持った赤外

線遮断フィルタを挿入したとすると，標準の光Aを照明用光源としたときに3色分解系に要求される分光透過特性は式(4.28)を用いて図4.45のように求められる。ただし，計算の結果出てくる分光特性の負の部分については上記近似を行なった上，図示してある。

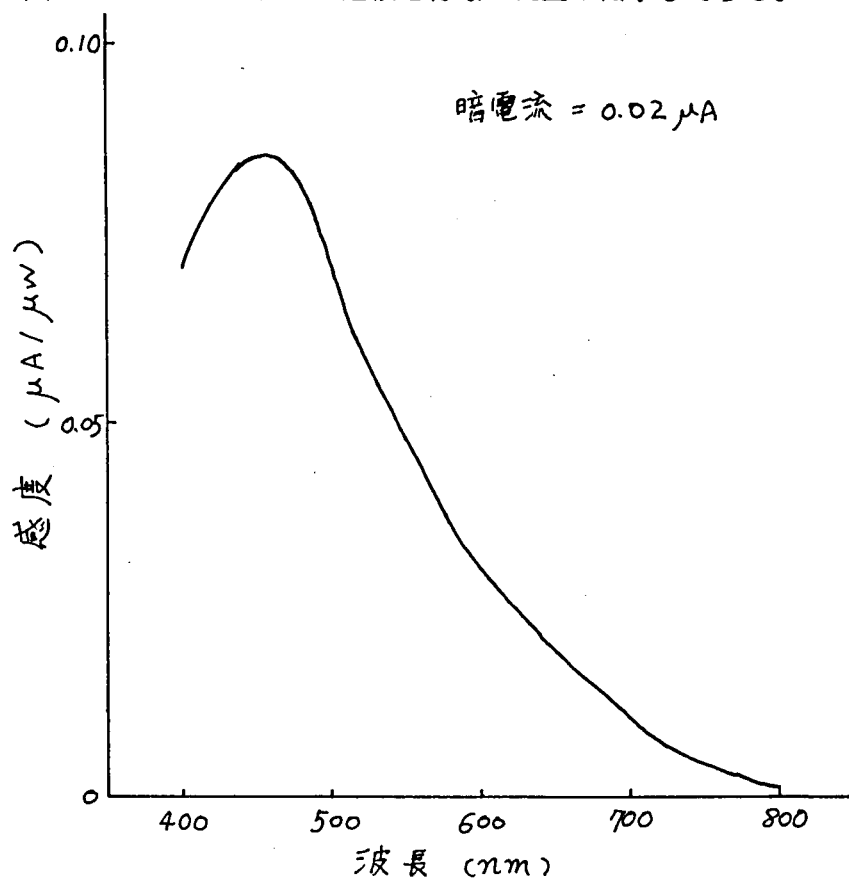


図 4.43 7735 A の分光感度特性 (RCA)

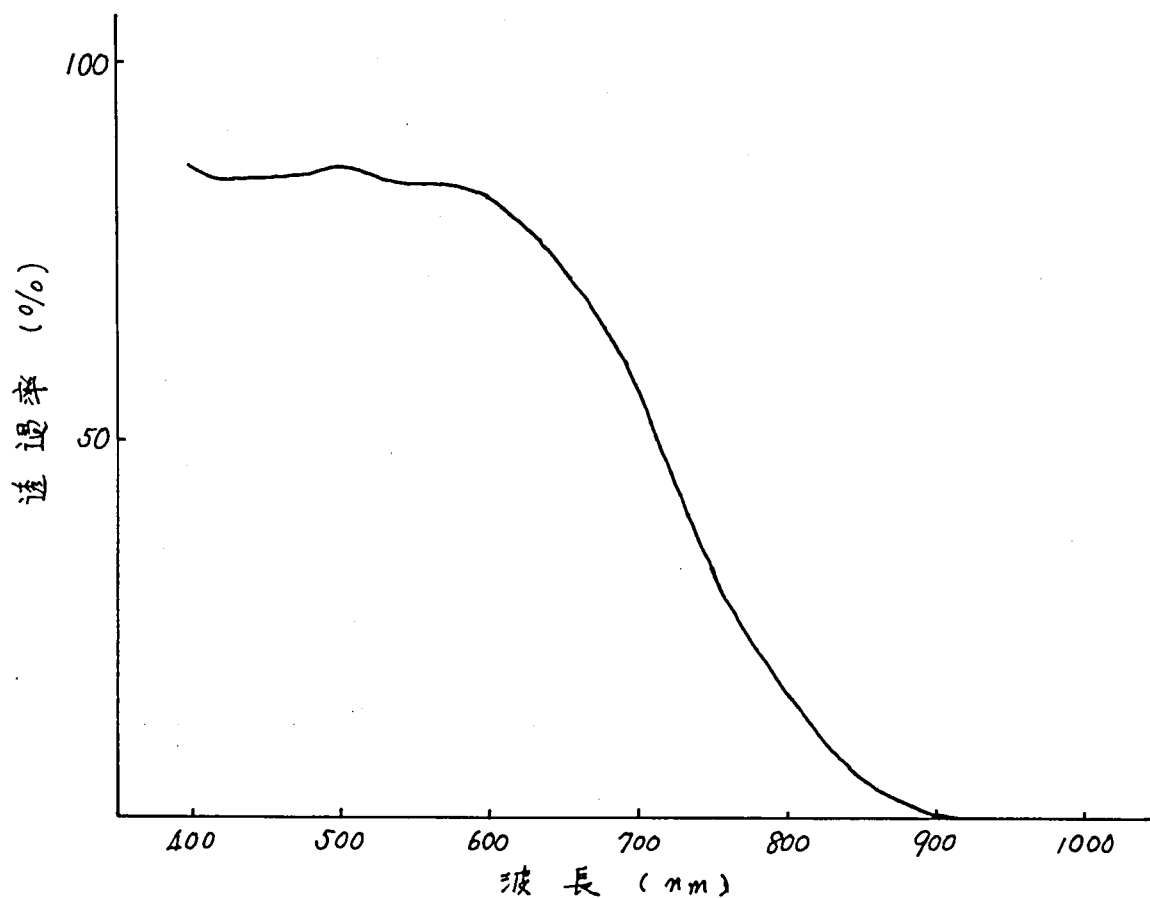


図 4.44 赤外線遮断フィルタ (IRQ-80) の分光透過特性

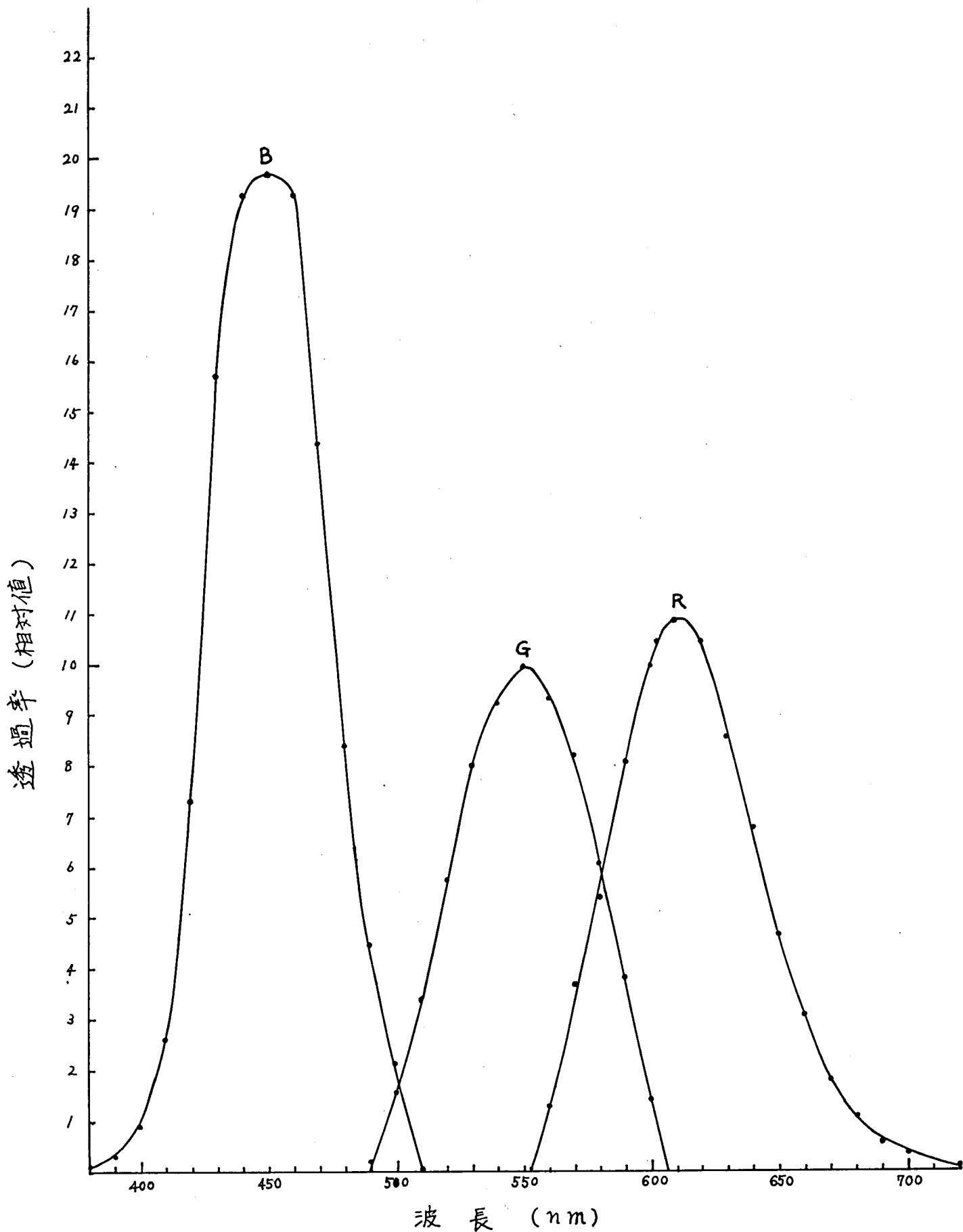


図 4.45 三色分解光学系に要求される分光透過特性

4.5.2 フィルタの選択

トライアッド式光学系では、三色分解は図 4.9 に示したように、光路途中リレーレンズ真近かに所要の分光透過特性をもったフィルタをおいて行なりより方法がない。できるだけレンズに接近した位置に置くことができ、またフィルタ挿入による非点収差発生などの悪影響を小さくできる点で、ゼラチン膜を染料で着色したフィルタを用いるのが有利である。フィルタの選択にあたって一般的に留意しなければならない点はずぎのようなものである。

- (a) 分光透過特性が所要の特性に近いものであること。
- (b) 透過率が高いこと。
- (c) 帯域透過性のフィルタは一般に図 4.46 に示すように必要とする透過波長域のほかこれより長波長の赤ないし赤外領域の光を透過するような性質をもっている。このようなフィルタを三色分解系の緑または青チャンネル分離用に用いると、これらのチャンネルに赤ないし赤外の成分が混入し、再現色の色純度を低下させる原因となる。赤外線遮断フィルタを併用してもこれらの成分のうち比較的短波長の成分は十分遮断できずに残る。この悪影響を軽減するためには長波長側の透過域がなるべく長い波長から始まるようなフィルタを選択すべきである。

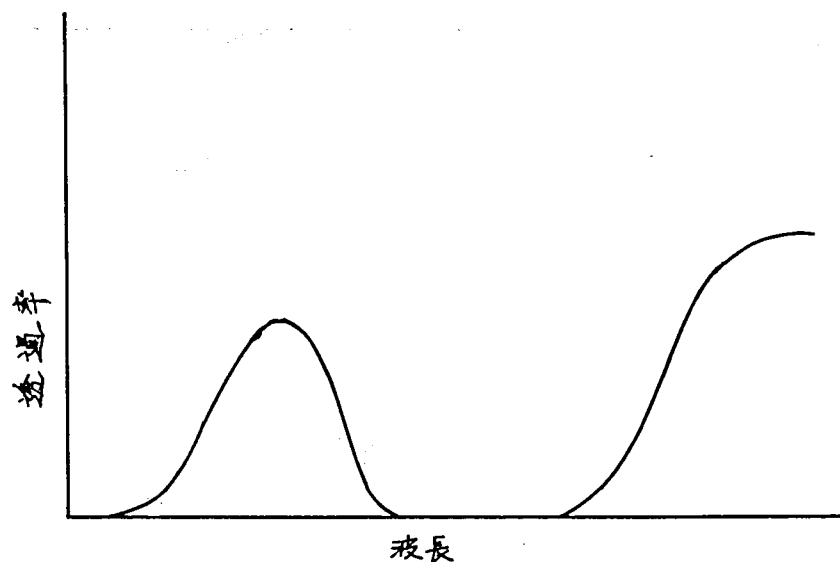


図 4.46 セラチンフィルタ（青～緑）の一般的分光特性

(1) 赤チャンネル用

赤チャンネル用フィルタには図 4.47 に示すように、610 nm 付近にピークを持ち、550 nm 付近および 720 nm 付近にすそを持った分光透過特性が要求される。ゼラチンフィルタでこのような特性のものを得ることはできない。そこで第一近似として短波長側のすその特性のみに着目し、この部分の比較的よく合った Kodak の Wratten 23A^(*) を選択した。

(2) 緑チャンネル用

緑チャンネル用フィルタとしては図 4.48 のように 550 nm 付近がピークで、490 nm 付近および 610 nm 付近で切れる特性のものが必要である。市販のゼラチンフィルタでこの条件を十分満すもの

(*) Wratten は Kodak のゼラチンフィルタの商品名、続く番号はカタログ番号である。

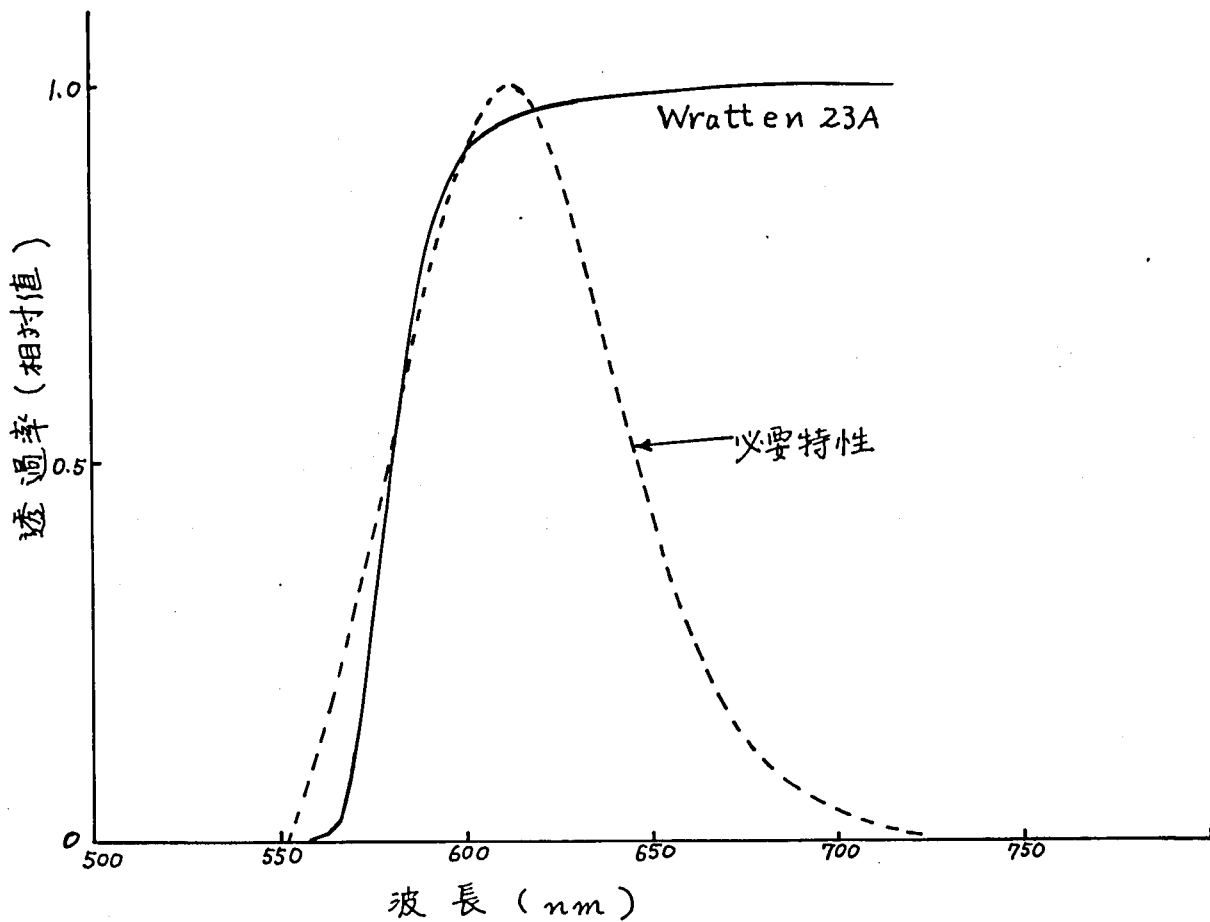


図 4.47 赤チャンネル用フィルタの分光透過特性

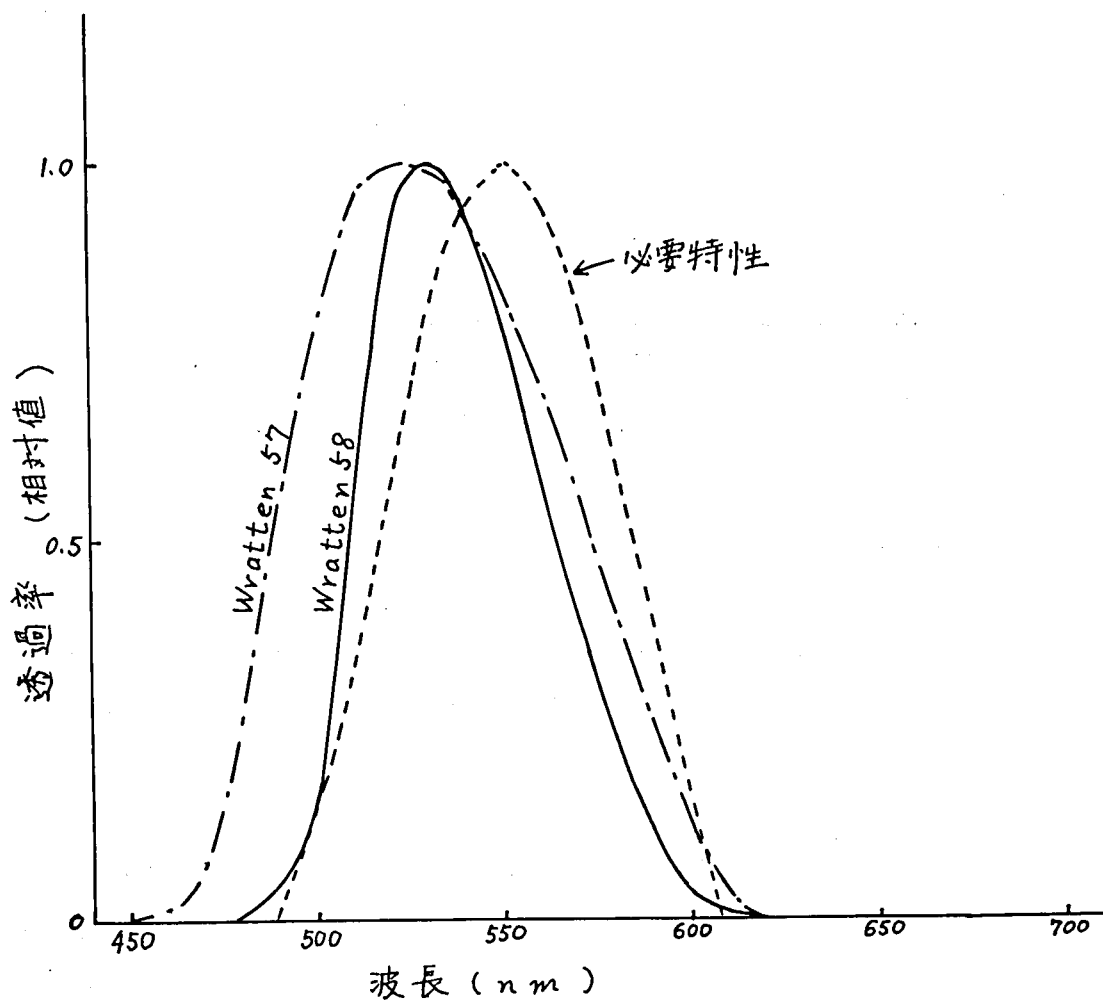


図 4.48 緑チャンネル用フィルタの分光透過特性

は得られないがWratten 58の分光透過特性は比較的これに近いものである。ただし、これは透過率が530nm付近のピークで約50%しかない。そこで分光特性はこれよりも悪いが透過率がピークで約70%あるWratten 57を選んだ。なおWratten 57はWratten 58にくらべて長波長透過域がわずかながら長い波長で切れて居り、この点でもすぐれている。

(3) 青チャンネル用

図4.45に示したように、被写体を白熱電球で照明する場合には青チャンネルの感度を赤および緑チャンネルにくらべて特に大きくとる必要がある。このためには青チャンネル分離用のフィルタはなるべく透過率の高いものを選ばなければならない。市販のゼラチンフィルタで所要の分光感度に近い分光透過特性をもったものはWratten 47であるが、これは透過率がピークで50%程度であって、不足である。透過率が高くても長波長透過域の立上り点が十分長い波長の領域にあるようなフィルタは既製品からは得られず、富士写真フィルムに依頼して試作した。試作フィルタの透過率はピークで66%、長波長透過域の立上り波長は750nmで、ゼラチンフィルタとしては特性良好である。分光特性を図4.49に示す。

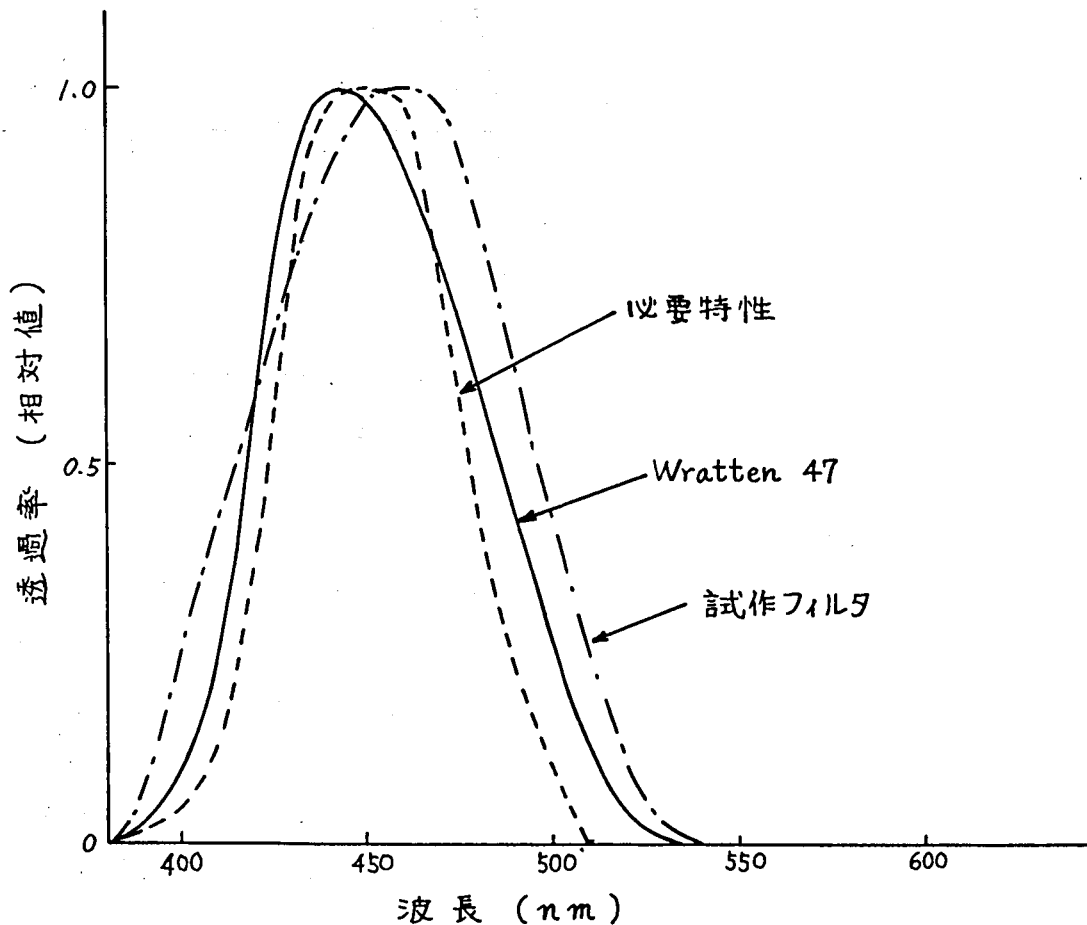


図4.49 青チャンネル用フィルタの分光透過特性

4.5.3 総合分光感度特性

撮像管の分光感度を図4.43のように仮定し、図4.44のような分光透過特性をもった赤外線遮断フィルタと図4.47～図4.49のような分光透過特性をもった三色分解用フィルタを光路途中においてたときの、カメラの分光感度特性を図4.50に示す。各チャンネルの感度は図4.50ではピークを1

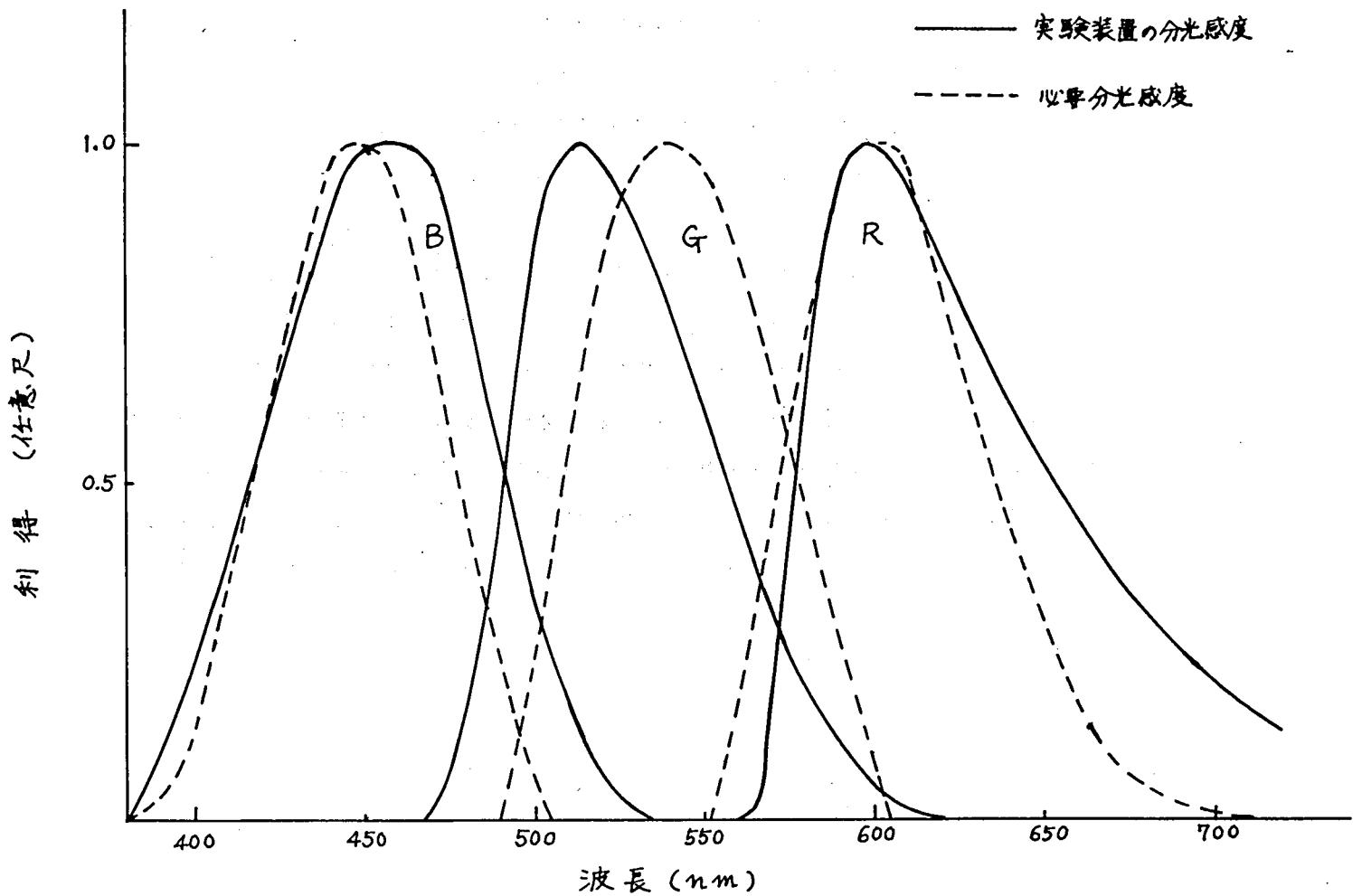


図 4.50 実験装置の総合分光感度

に規準化して示してあるが、これはもちろん図 4.45 に示したような比にすべきで、このためには各リレーレンズ片に絞りを設けて、絞りの開きを調節するようにする。

4.5.4 光源変更の問題

図 4.45 は被写体を標準の光 A で照明し、しかもあたかも標準の光 C で照明したかのごときカメラ信号出力を得るために必要なカメラ分光感度を示したものである。照明光源の分光分布が異なる場合には、カメラの分光感度は本来は式 (4.31) に戻って計算しなければならない。しかし標準の光 A で照明されるように調整されたカメラを昼光のもとで使用する場合などのように、いずれにしても照明光源の分光エネルギー分布にいちじるしい凹凸のない場合には、図 4.45 の分光感度の形を変えることなしに、各チャンネルの感度比のみを変えることで事足り、この調整による色度の移動はわずかである。すなわちこの場合には各リレーレンズ片に入れた絞りの開きを再調整すればよい。もう一つの方法は照明光源に合わせてカメラの総合分光感度を変えるような色温度変換フィルタを光路途中に挿入することである。この場合は変換の方法としては簡単であるが、完全な変換フィルタを求めることは困難であるほか、光の損失を伴う。

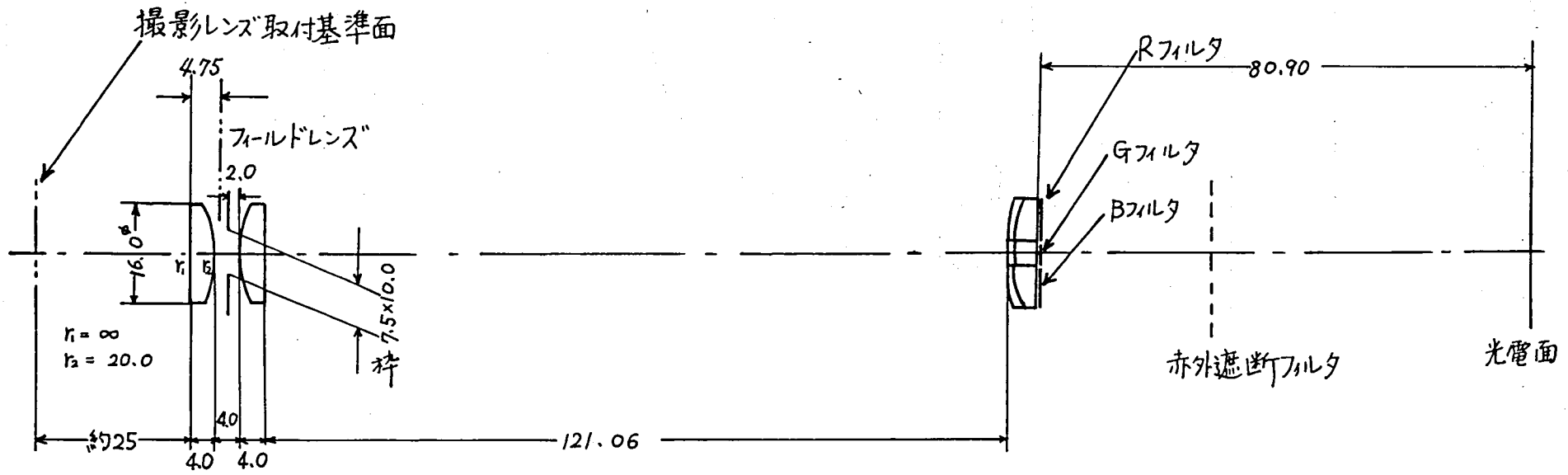


図 4.51 トライアッド式三色分解光学系の構成と寸法 (レンズVの場合)

4.6 トライアッド式光学系の光学設計

図 4.51 に光学系全体の構成を示す。また図 4.52 にトライアッド・リレーレンズの構成寸法を示す。中央のレンズ片はレンズの中心近傍を用いている関係で高い解像力が得られるから、これを受像画面における輝度のもっとも高い緑チャンネルにあてた。また図 4.45 に示したように青チャンネルの透過率は高いことが要求されるから、両端のレンズ片の口径は中央よりも大きくしている。

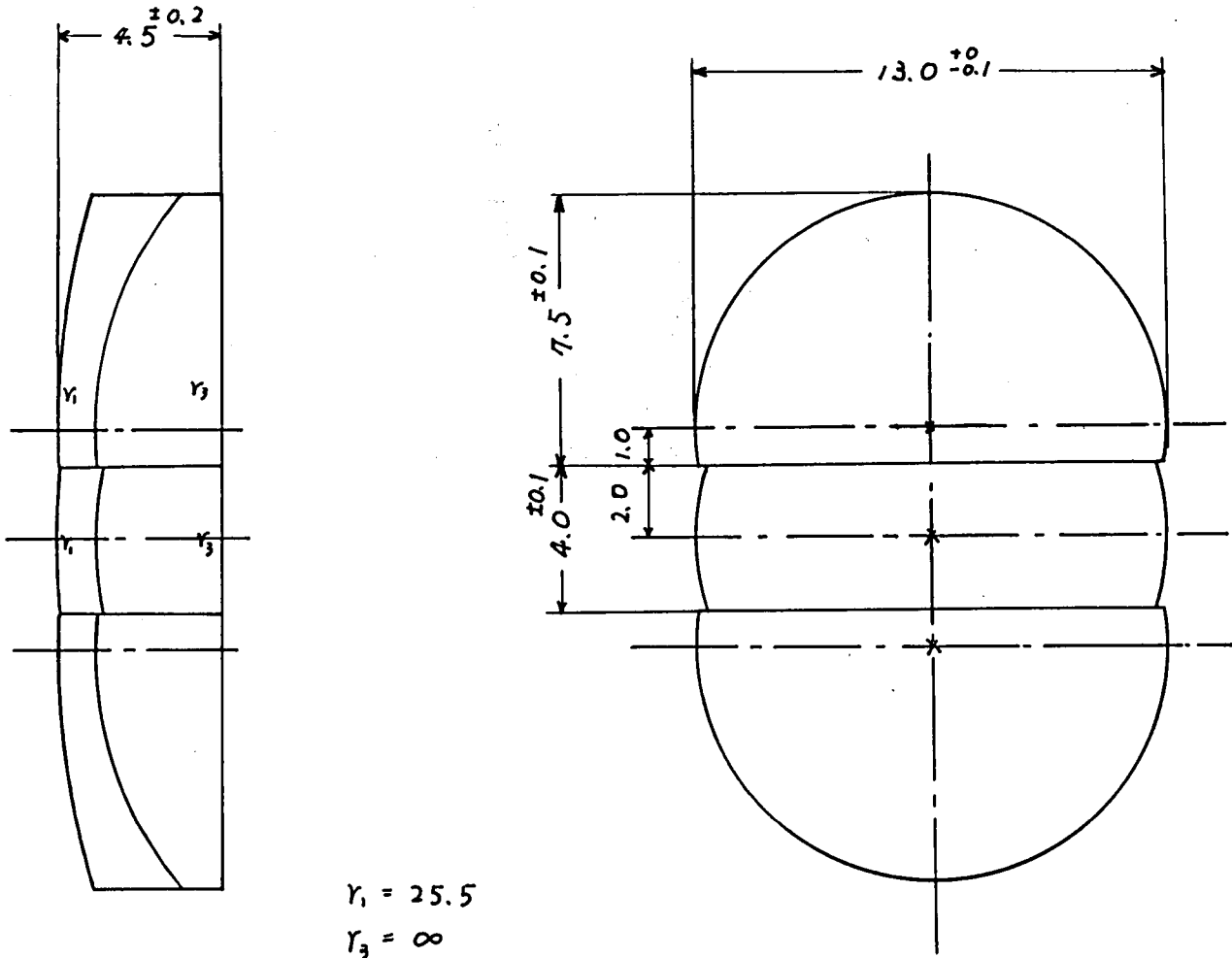


図 4.52 トライアッド・リレーレンズの構成，寸法（レンズVの場合）

4.7 トライアッド式光学系の機械設計

トライアッド式光学系の構造上いちばん問題になる点はトライアッド・リレーレンズの組立て方である。3つのレンズ片の光軸はたがいに平行等間隔で、かつ前方から見て鉛直な一直線上になければならない。解像度を300TV本数として1画素分だけの重ね合わせずれを許すとすると、これに対応するリレーレンズ片の光軸の，上記整列条件からの許されるずれの大きさは $\frac{1}{100}$ mm となる。この値は何らかの調整機構を用いなくては達成できない値である。

光軸整列不良の種類は図 4.53 に示すように

- (a) 光軸の不平行
- (b) 光軸間隔の不均等，すなわち垂直方向の整列不良
- (c) 光軸の水平方向の整列不良

の3種類である。まず(a)について考える。光軸の傾き角を θ とし，前後主点間隔を d ，光軸不平行に

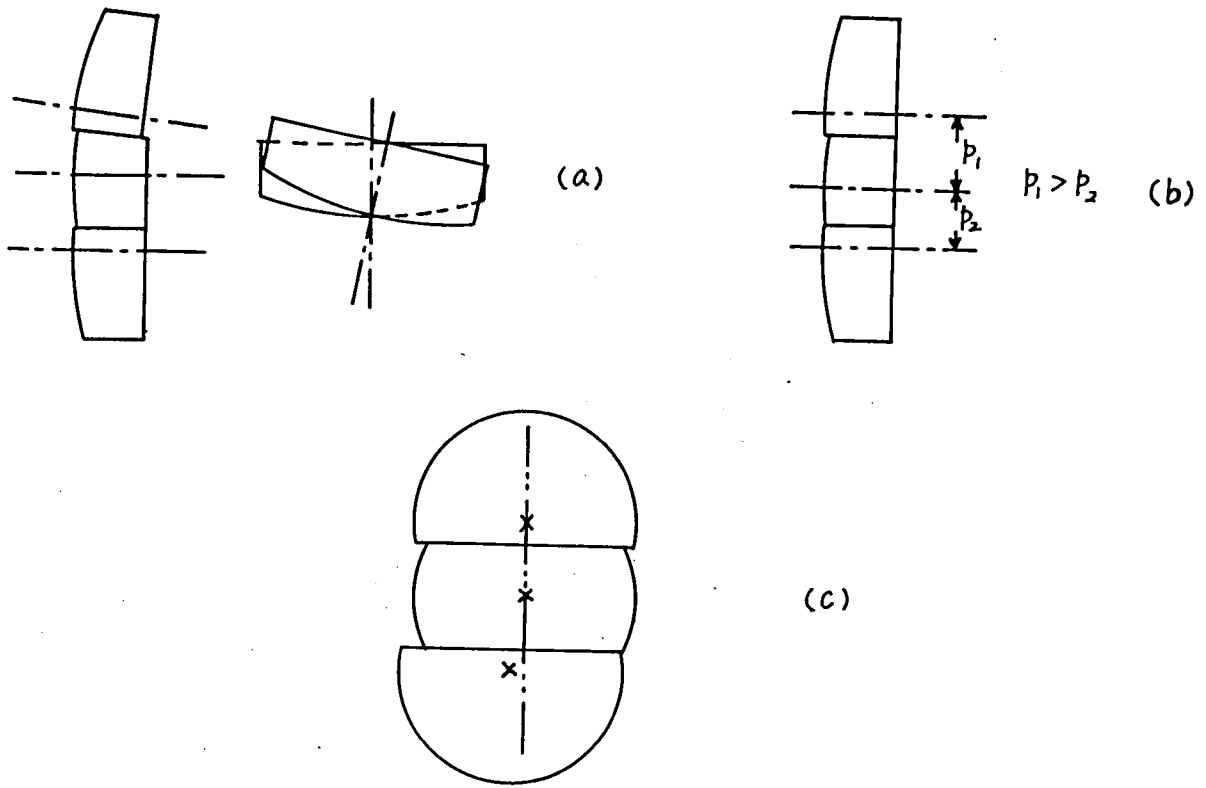


図 4.53 トライアッドレンズの整列不良

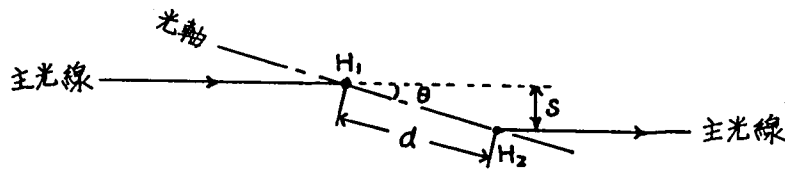


図 4.54 光軸の傾きと主光線の偏位

よる光線の偏位 s は図 4.54 に示すように

$$s = d \sin \theta \quad (4.34)$$

である。4.3 節で求めたレンズⅣの例から $d = 1.66 \text{ mm}$ とし、 $s = 0.01 \text{ mm}$ とすると $\theta = 21'$ となる。光軸の傾きをこの程度におさえることはレンズ加工技術の上からは可能である。またこの種の整列不良は多少画質に悪影響を及ぼすほかは、重ね合わせに関しては結局つぎの二つの整列不良と同じ結果を与えることになるから、その方で補正できる。

つぎに(b)については、原レンズから各レンズ片を 0.01 mm の精度で切り出すことは困難であるから、対策が必要となる。これを光学系の整列で補正するためにはレンズ片の間に間隔片を入れて調整する方法などが考えられるが、完全な補正はやはり困難である。そこで、これは後に述べる回路的方法によって解決した。

最後に(c)の整列不良は回路的方法によっても補正できないので、どうしても光学系で補正しなければならない。このためには全部のレンズ片が水平方向に摺動するようにすればよいが機構が複雑にな

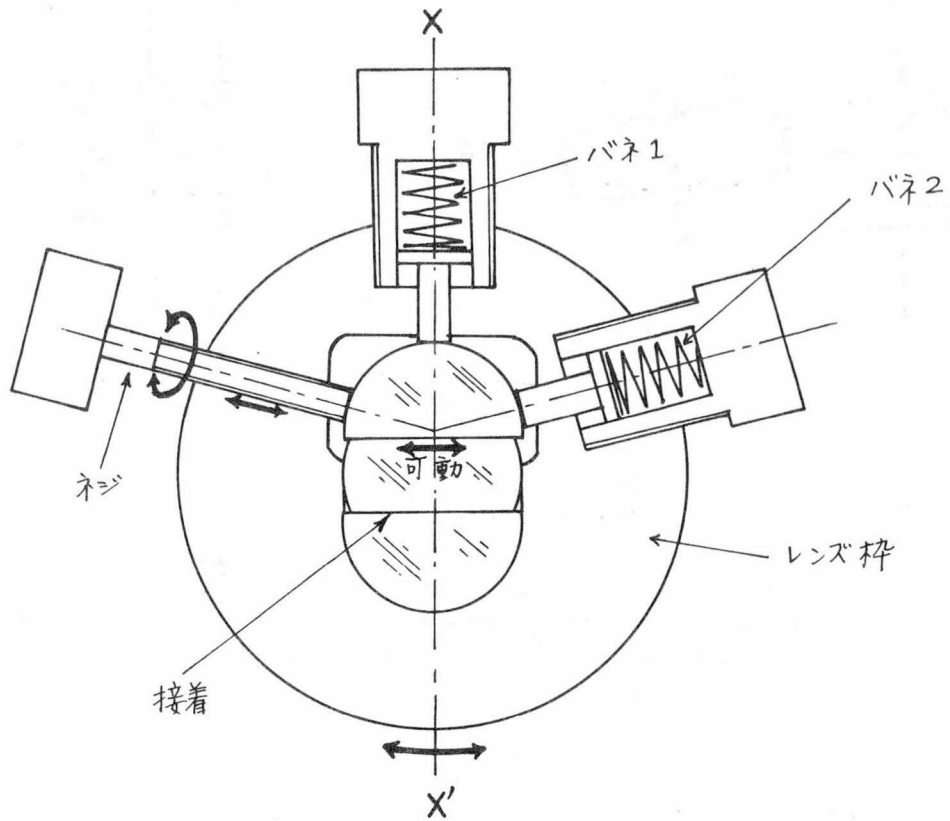


図 4.55 リレーレンズの整列調整機構

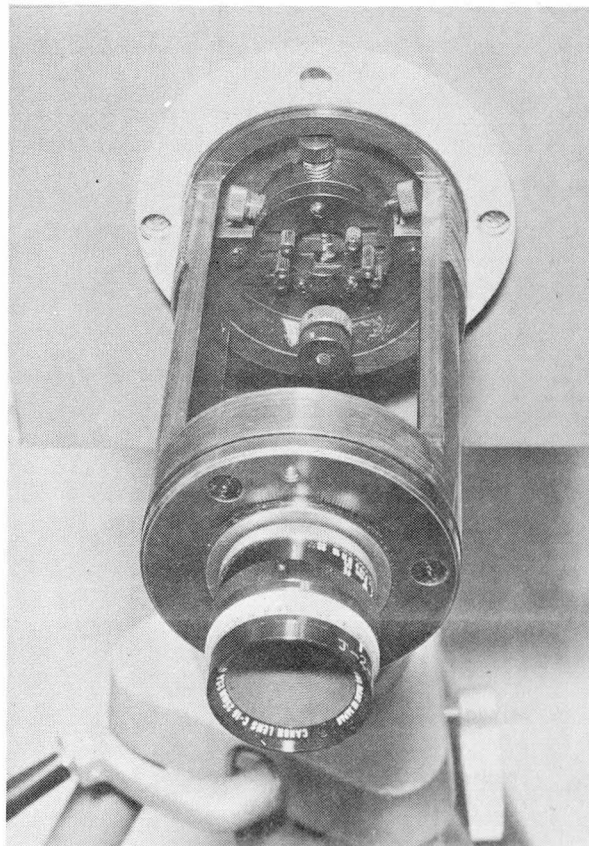


図 4.56 光学系の外観

る。そこでこれを簡略化して図 4.55 のような機構を考案した。すなわち 3 個のレンズ片のうち、中央と下部の 2 個を接着して一体とし、これをレンズ枠にはめ込んで固定する。残る 1 個の上部のレンズ片を可動とし、バネ 1 および 2 で 2 方向から圧迫するとともに、横方向からネジで押して摺動させ、3 つのレンズの光軸が一直線 $X-X'$ を横切るように整列する。この状態ではこの直線 $X-X'$ が鉛直であるという保障がないから、中央レンズの光軸を中心にレンズ枠全体を回転させ、 $X-X'$ 軸を鉛直軸に一致させる。

つぎに三色分解用フィルタは各レンズ片と同じ寸法に切断して、各レンズ片の後面に接着した。また各レンズ片前方にそれぞれの入射光量を調節するための絞りを設けた。絞りは両横側から遮蔽板を突き出す構造とし、半固定式とした。

図 4.56 に光学系の外観を示す。

4.8 まとめ

(1) 全電子式フィールド順次方式カラー C C T V に使用するための三色分解光学系について、まず基本的な要求事項を検討し、これを満たすような光学系として、ダイクロイックミラー式、3 反射鏡式、屈折式、トライアッド式の 4 型式を考案した。これらの光学系について利害得失を検討した結果、簡易型カラー C C T V 用としてはトライアッド式が最適であるという結論に達した。

(2) トライアッド式リレーレンズを構成する原レンズ片として単レンズおよびセメントドダブルレットレンズの両方について検討した結果、セメントドダブルレットレンズを用いるのが適当であるという結論を得た。この結論にもとづいて球面収差最小のリレーレンズを設計した。

(3) フィールドレンズの設計方針を明らかにした。

(4) 三色分解のためにはリレーレンズ片のごく近傍に赤、緑、青のセラチンフィルタを配置するのが適当であるという結論を得、これに従って三色分解用フィルタとして赤チャンネル用に Wratten 23A を、緑チャンネル用に Wratten 57 を、青チャンネル用には特に試作したフィルタを選定した。

(5) トライアッドリレーレンズの整列機構として、3 枚のレンズ片のうち 2 枚を接合固定、残り 1 枚を摺動可能とし、かつ全体を回転できるような機構を考案した。この考案により、レンズ加工の機械的誤差を大部分修正することができた。

第5章 全電子式フィールド順次方式の回路系

5.1 回路系の構成

回路系をカメラ、モニタおよび電源部の3部分にわけて構成配置した。回路系の系統図を図5.1に示す。カメラ部には映像増幅器前半、カメラ水平偏向出力回路、帰線消去信号増幅回路、シェーディング補正信号増幅回路、およびこれらの回路に安定電圧を供給するための電圧安定回路を、いずれもトランジスタ化して組み込んだ。モニタ部には映像増幅回路後半、同期信号発生回路、カメラ垂直偏向出力回路、モニタ水平および垂直偏向出力回路、シェーディング補正信号発生回路、ゲート信号発生回路、帰線消去信号発生回路を全電子管式として組み込んだ。最後にこれらの回路に供給するための電源は別のシャーンに組み込んだ。これらの回路のうち、同期信号発生回路、カメラ垂直偏向出力回路、シェーディング補正信号発生回路、ゲート信号発生回路は新たに創案したものである。

5.2 映像増幅回路

図5.2はカメラに組込まれた映像増幅器前半の結線図である。この回路は一般のCCTVの増幅回路とほぼ類似しているが、次の2点を改良した。すなわちビジコンターゲットの負荷抵抗は普通50k Ω が使用されるが、これを200k Ω とし、初段および第2段にニュービスタを用いてS/Nの改善をはかった。 γ 補正については一般のCCTVと同じく、ビジコンの γ 特性と受像管の γ 特性が相殺されて系全体の $\gamma \cong 1$ なることを期待して、 γ 補正は行なっていない。^(*)

図5.3はモニタに組込まれた映像増幅器後半の結線図である。第1段でクランプと帰線消去兼同期信号の混合を行なう。黒レベルクリップのためのダイオードは真空管(6AL5)を用いている。これは半導体ダイオードを用いたときに生ずる、キャリア蓄積効果による水平帰線消去信号のあと引きを避けるためである。

これらの映像増幅器の総合帯域幅は約5.5MHzである。

5.3 同期信号発生回路

5.3.1 同期方式

一般にITVとよばれるような高級でないCCTVにおいては、水平、垂直の両走査の周波数比、位相関係に一定関係を持たせないで、両者をそれぞれ独立に行わせる、いわゆるランダム・インターレース方式がとられるのが普通である。この方式をとると前のフィールドにおける走査線と後のフィールドにおける走査線とはたがいに間に入り得るチャンスもあれば、たがいに重なり合うチャンスも

(*) 撮像管の光電変換特性を $E_0 = k_1 L^{\gamma_1}$ (ただし E_0 : 信号出力, L : 入力光強度, k_1, γ_1 : 定数) とし、同様に受像管の変換特性を $B = k_2 E_i^{\gamma_2}$ (ただし B : 出力光強度, E_i : 入力信号, k_2, γ_2 : 定数) とするとき、これらの関係を撮像管、受像管の γ 特性という。さらに伝送系の特性を $E_i = k_3 E_0^{\gamma_3}$ (k_3, γ_3 : 定数) とすれば、 $B = k L^{\gamma_1 \gamma_2 \gamma_3} = k L^{\gamma}$ (k, γ : 定数) となり $B \propto L$ なるためには $\gamma = \gamma_1 \gamma_2 \gamma_3 = 1$ でなければならない。ビジコンの $\gamma_1 \cong 0.6 \sim 0.7$, 受像管の $\gamma_2 \cong 2$ であって、全体の $\gamma \cong 1.4$ となり、1に近い。そこで映像増幅系の $\gamma_3 = 1$ すなわち直線的としても大きな障害は生じない。

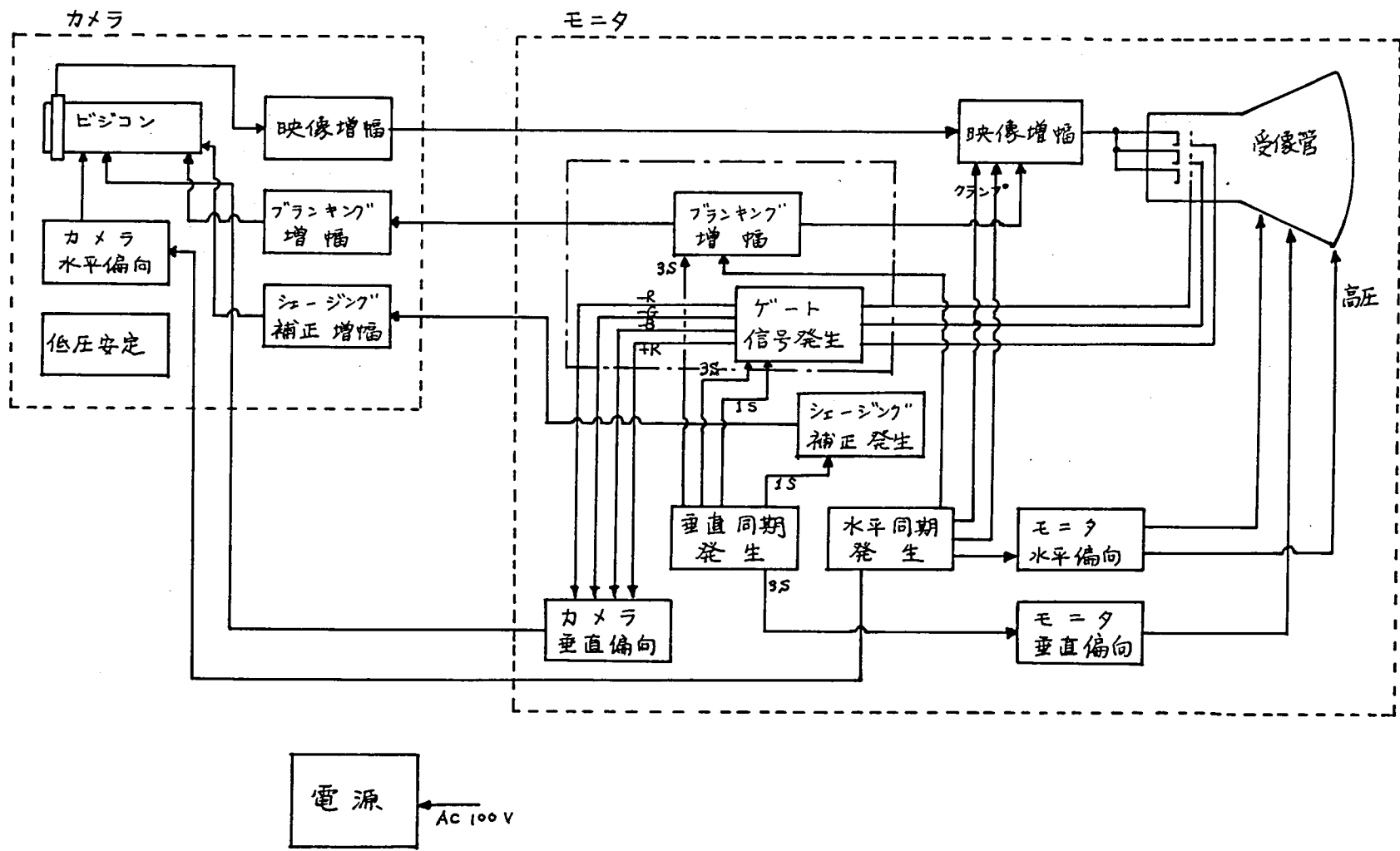


図 5.1 回路系統図

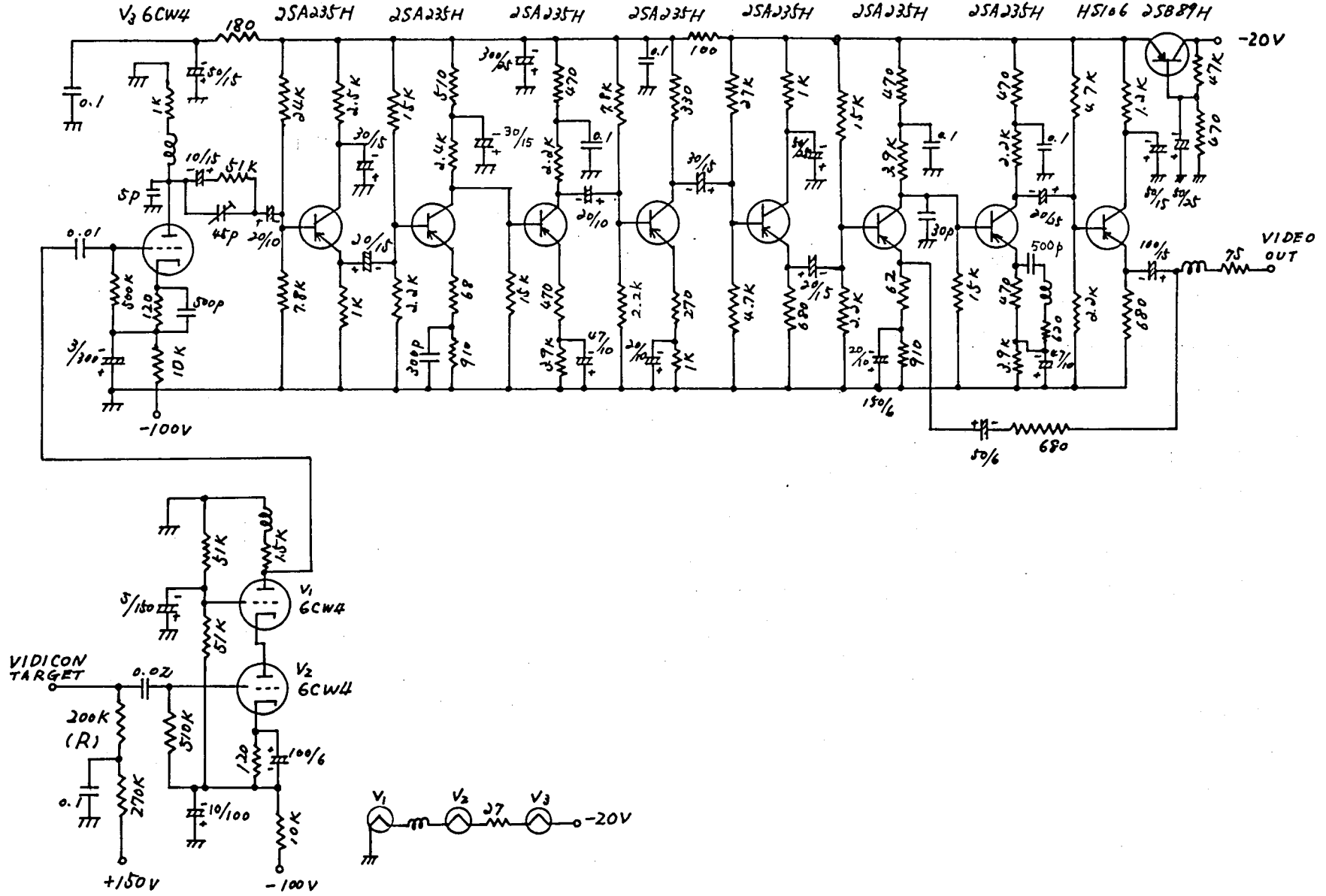


图 5.2 映像增幅器前段 (カメラ組込部)

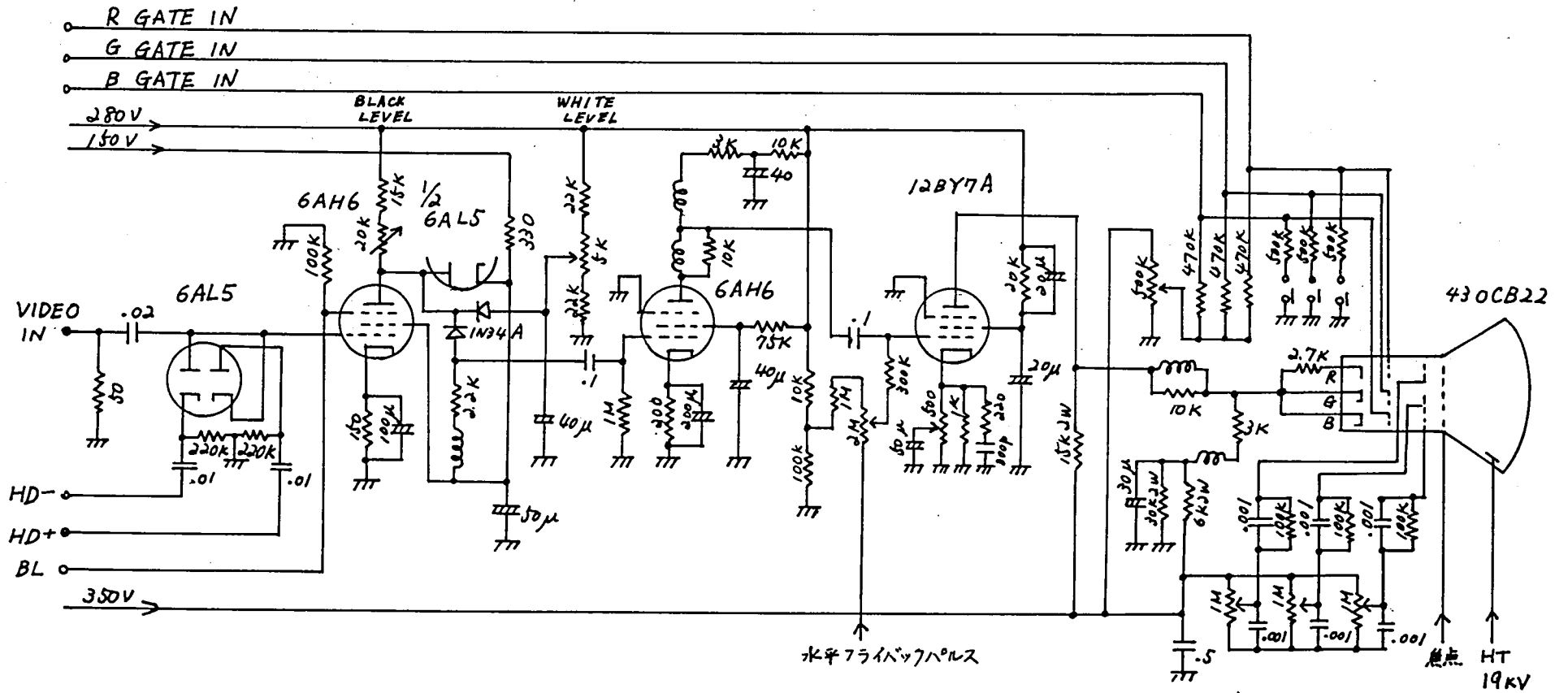


図 5.3 映像増幅回路後段 (モニター組込み部)

ある。このため、完全にインターレースが行われた場合にくらべて走査線の数が減少したように見え、垂直解像度も0.7～0.8倍に低下するが、回路を非常に簡略化することができるから、この方式を採用することにした。さらにつきに示すような一般のITV等で行われている同期信号の簡略化を行った。ただし本方式の検討とは別に、筆者は2：1のインターレースを行なわせる同期信号を簡易に発生させる方法について検討した。この方法は実際には本方式には適用しなかったが、原理的に適用可能と考えられる。この方法の検討内容については付録A5で詳しく述べておく。

- (1) 帰線消去信号を同期信号に兼用させる。映像信号と帰線消去信号、同期信号の関係を標準同期方式と簡略化方式について示すと図5.4のようになる。
- (2) 垂直同期信号（上記(1)の方法を採る場合には垂直帰線消去信号と兼用）に水平同期用の切れ込みを挿入することをやめる。
- (3) 垂直同期信号の前後に等化パルスを入れるのをやめる。

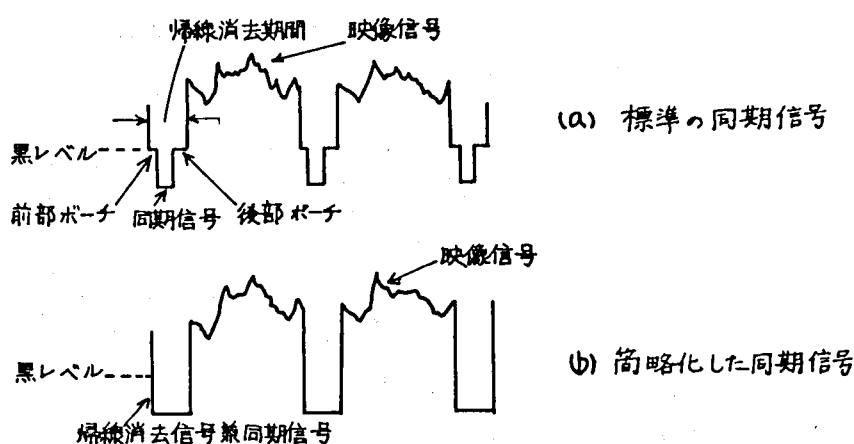


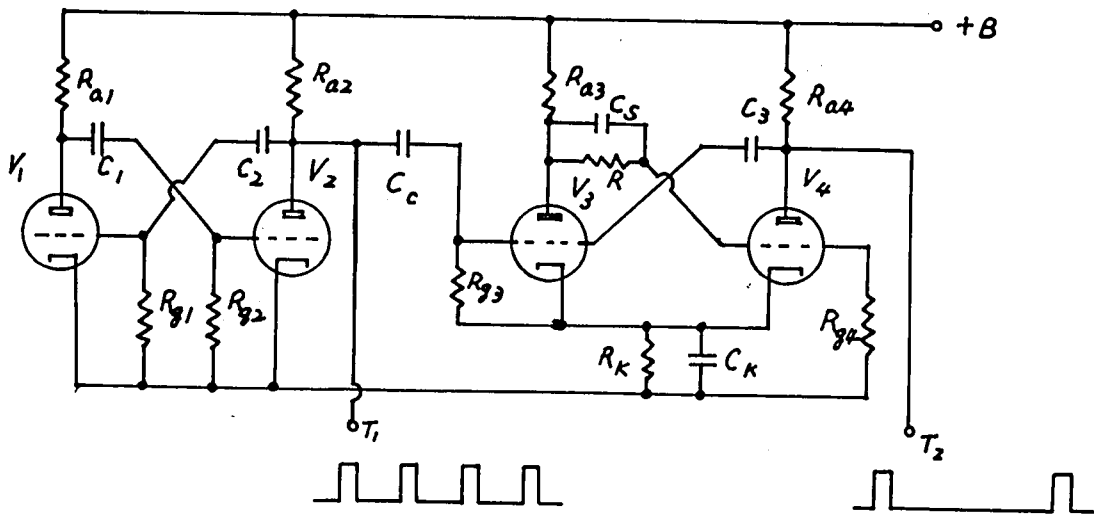
図5.4 同期信号の簡略化

5.3.2 垂直同期信号発生回路

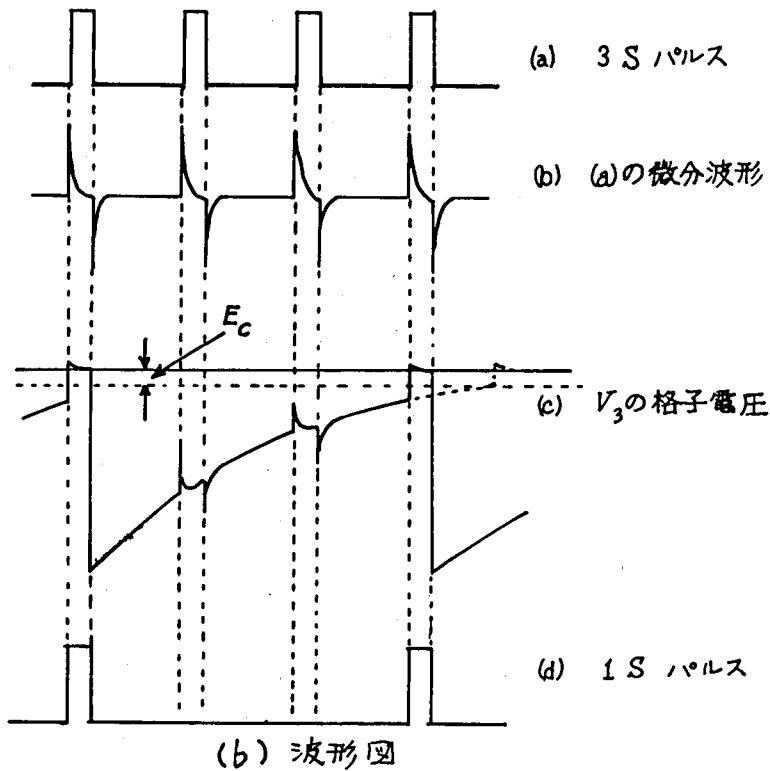
垂直同期信号としては、撮像側偏向の同期をとるための40Hzのパルスと、受像側偏向の同期をとるための120Hzのパルスの2つを必要とする。以下前者を1Sパルス、後者を3Sパルスと呼んで区別する。後に述べる垂直偏向の方式をとると、1Sパルスはカメラ偏向の帰線期間をきめることになる。また3Sパルスをモニタの垂直偏向駆動パルスとして使くと、これはモニタの帰線期間をきめることになる。したがって1Sパルスと3Sパルスの周波数比を1：3とするだけでなく、パルス幅も等しく、かつパルス前縁とパルス後縁の位相関係も一致させておくのが有利である。

帰線消去による走査線数の減少をできるだけ少なくするために、垂直帰線消去パルスとして3Sパルスを利用し、帰線消去期間を帰線期間と等しくとる。帰線消去期間は1フィールド期間の6%とする。したがって3Sパルスのデューティ・サイクルは6%、1Sパルスのデューティ・サイクルは2%となる。

上記のような関係をもつ2つのパルス列、3Sパルスと1Sパルスを作る方法を考案した。これを図5.5に示す。図で V_1 、 V_2 は非安定マルチバイブレータを形成し、その出力は3Sパルスである。3SパルスをCcおよび Rg_3 で微分し、 V_3 および V_4 で構成される単安定マルチバイブレータをトリガする。このときの各部波形の関係は図5.5(b)のようになり、単安定マルチバイブレータの出力とし



(A) 垂直偏向パルス発生回路(概念図)



(b) 波形図

図 5.5 垂直偏向パルスの発生

て 1 S パルスが取り出される。この回路は本質的には通常の単安定マルチバイブレータによる分周回路にほぼ同じであるが、この回路ではトリガのかけ方が異なり、普通の単安定マルチバイブレータの使用法ではパルスの幅を外部から規制しないのに対し、この回路によれば 3 S パルスの前縁、後縁に対応する正負の微分パルスでトリガすることによって、1 S パルスの幅と位相を規定することができるのである。

5.3.3 水平同期信号発生回路

水平同期信号の原発振器は 20.1 kHz の正弦波を発振する LC 発振器である。この正弦波の一部を

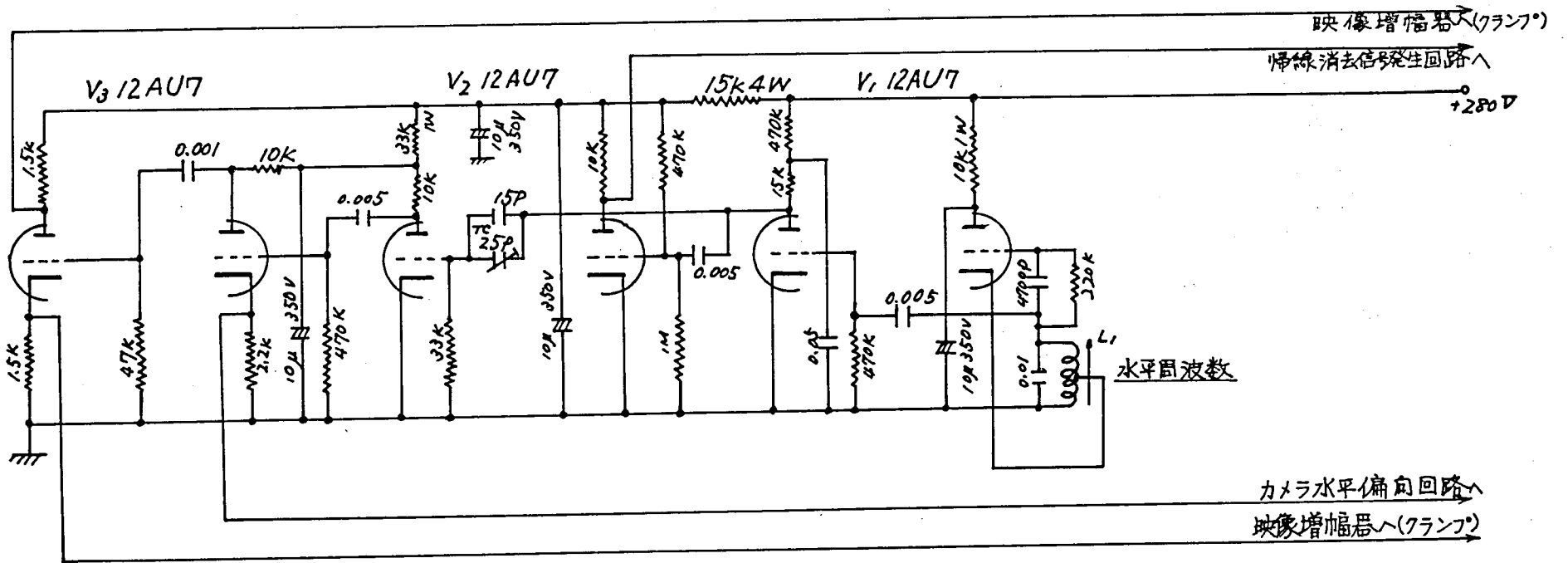


図 5.6 水平同期信号発生回路

クリップにより切り出してパルスを作り，これを水平同期信号兼水平帰線消去信号とする。このパルスを微分後クリップしてさらに幅のせまいパルスを作り，これをカメラ水平偏向駆動パルスとする。さらにこれと同じ幅の正負対称のパルスを作って，これを映像増幅器におけるパルスクランプ回路に供給するゲートパルスとする。この構成は特に新規なものではない。以上の結線図を図 5.6 に示す。

5.3.4 帰線消去信号混合回路

垂直帰線消去信号（3Sパルス）と水平帰線消去信号を混合して合成帰線消去信号とする。この混合回路は図 5.7 のように構成する。合成帰線消去信号はビジコンの第1格子—陰極間に加えられて帰線期間中ビームをカットオフするとともに，映像増幅器に導かれ，同期信号兼帰線消去信号として映像信号に混合される。この構成も一般的である。

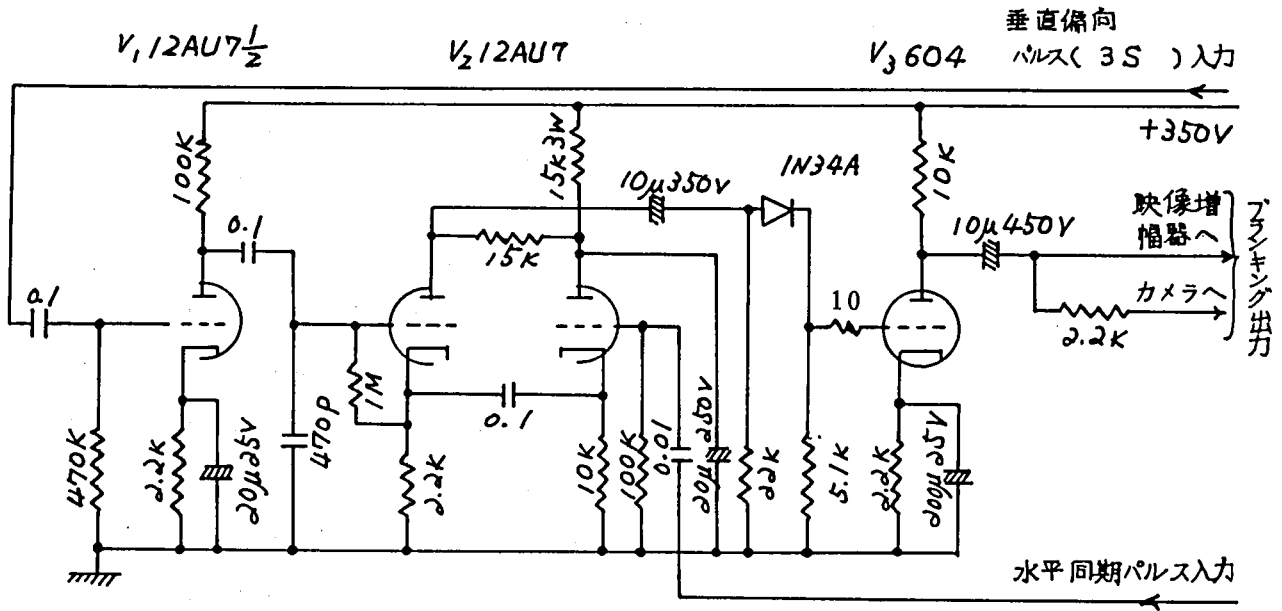
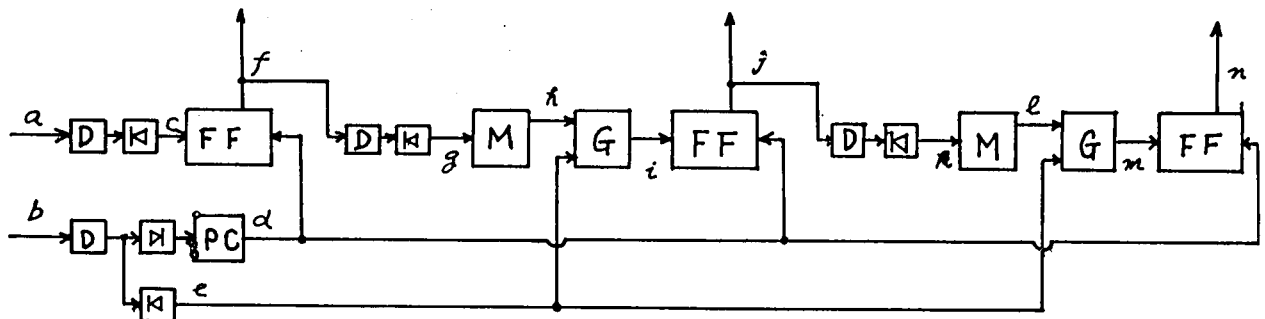


図 5.7 帰線消去信号発生回路

5.4 ゲート信号発生回路

受像側における色切替は図 2.17 に示したような三つの 40Hz の矩形波を，受像管の赤，緑，青に対応する電子銃に加え，それぞれ対応する色信号の来ている期間だけゲートし，他の期間は不要の電子銃をカットオフすることによって行なう。このゲート信号を発生させるための回路として図 5.8～



D : 微分回路 PC : 極性反転回路 M : 単発マルチ G : ゲート回路 FF : フリップフロップ

図 5.8 ゲート信号発生回路系統図

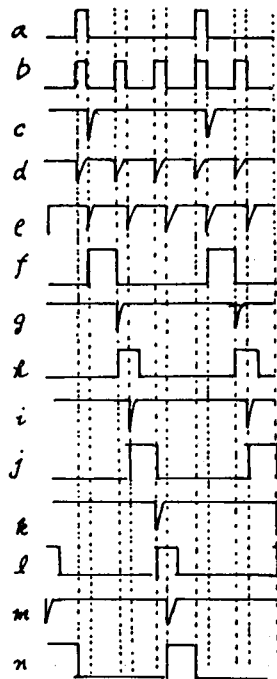


図 5.9 ゲート信号発生回路の各部波形

図 5.10 に示すような回路を考案設計した。まず図 5.8 はその構成の系統を，図 5.9 はこれに対応する各部波形を示す。同期入力として正極性の 1 S および 3 S パルスを用いる。これを図 5.9 a, b に示す。a を微分して負の系列のみをとりだすと，a の後縁に対応する微分パルス c を得る。つぎに b を微分後整流し極性反転して b の前縁に対応する微分パルス d を得る。同時に b の微分波から負の系列，すなわち b の後縁に対応する微分パルス e をとり出しておく。そして c および d をセット，リセットパルスとして第 1 段の双安定マルチバイブレータをトリガすると，その出力として f のような矩形波が得られる。つぎに f を微分後整流してその後縁に対応する微分パルス g を作り，g で単安定マルチバイブレータをトリガする。単安定マルチバイブレータの出力は h のごとく，その幅が a または b の幅の数倍程度であるように設定しておく。そして h および e を AND ゲートに加え，h をゲートパルスとして e から i を抜き出す。つぎに i および d をセット，リセットパルスとして双安定マルチバイブレータをトリガし，出力として矩形波 j を得る。以下全く同様にパルス k, l, m, そして最後に矩形波 n を得る。

矩形波 f, j, n はそれぞれ繰り返し周波数が 40 Hz, たがいに位相は 120° ずつ異なっており，それぞれ正の期間は垂直帰線消去期間を除く受像側における垂直走査期間に等しい。したがってこれら三つの矩形波をそれぞれ赤，緑，青のゲート信号として利用する。

このゲート信号発生回路の具体的結線を図 5.10 に示す。

5.5 カメラ垂直偏向回路

第 3 章 3.2 節で述べたように，原則的にカメラの垂直偏向の直線性は非常に高くなくてはならない。また偏向振幅も極めて厳密に制御しなければならない。長期間にわたってこれらを厳しく一定に保つことはかなり困難なことである。厳密な安定化が困難であるとすれば何らかの調整機構を必要とし，

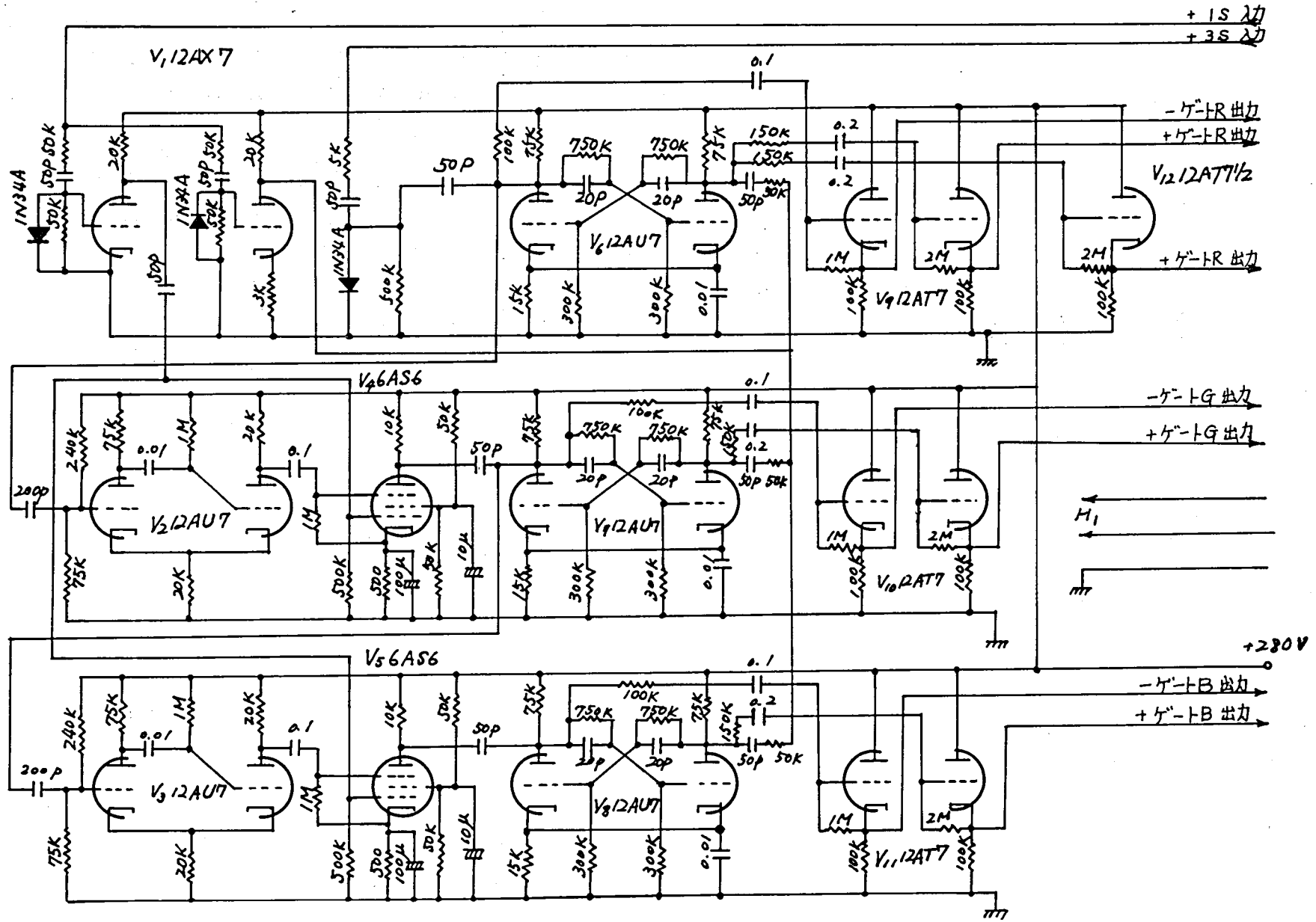


図 5.10 ゲート信号発生回路

かつ実用上調整が簡便容易にできることが必要である。そればかりでなく、撮像管電子ビーム偏向の直線性の向上にいかにか力を払ったとしても、トライアッドレンズ系に第4章4.7節(b)で述べた類の整列不良があると、結局受像画面の重なりが悪くなることを免れない。これらを解決するために次のような方法を考案した。⁴⁵⁾⁵⁶⁾

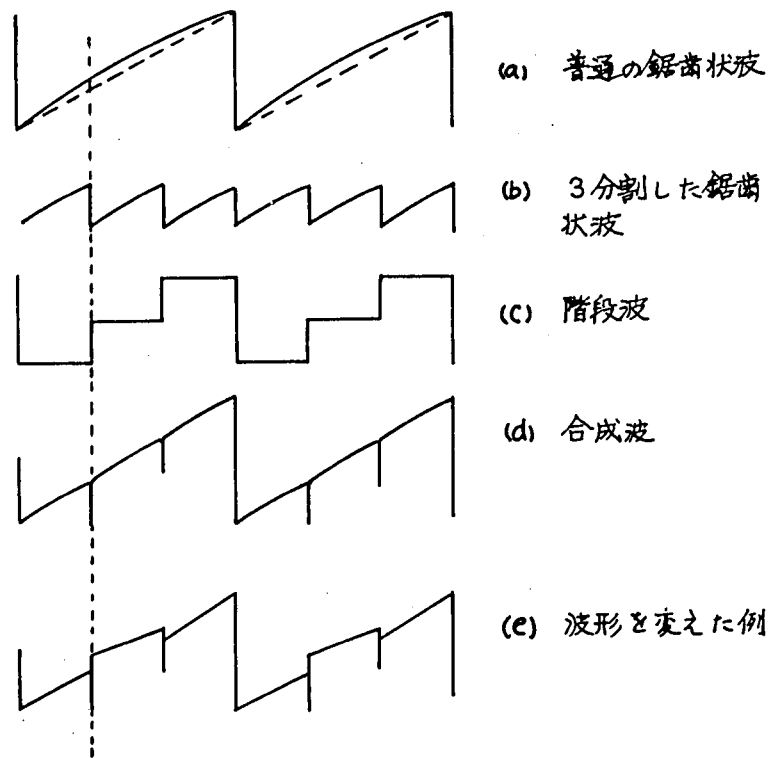
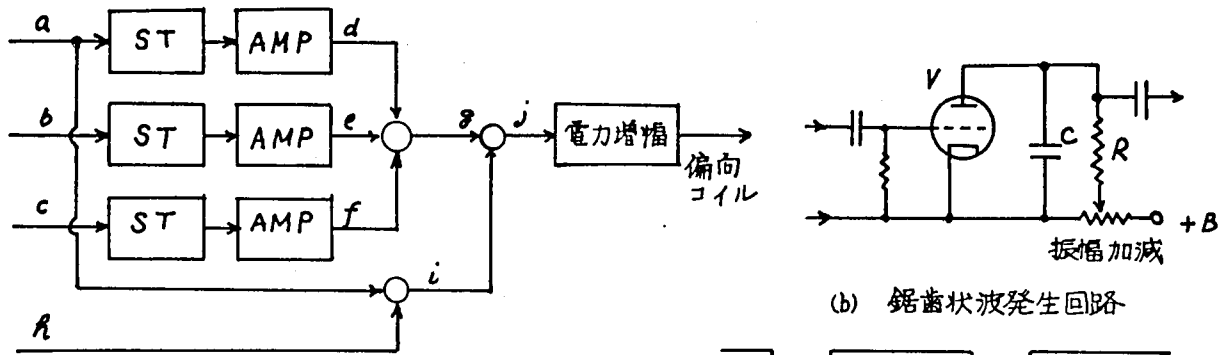


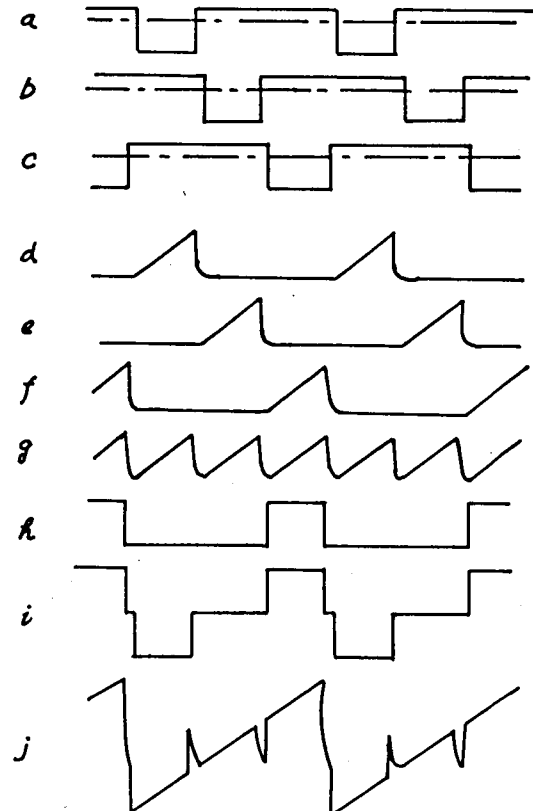
図 5.11 垂直偏向波形発生原理

図 5.11 は考え方の原理を示す。(a)は通常の鋸歯状波である。点線は理想的に直線的に電圧が上昇する場合を示すが、一般には実線のように曲る。周期が長くなるほど直線性は維持されにくくなる。そこで鋸歯状波を3分割して繰返し周波数が(a)の3倍であるような鋸歯状波(b)を作る。これと対応して(c)のような階段波を作って(b)に重畳し、(d)のような波を作る。そして(d)なる波形の電流を偏向コイルに流す。垂直偏向の周波数は低く、また撮像管のビーム偏向角は小さいから偏向出力管はA級で動作させることができ、あらかじめ(d)の波形の電圧を成形しておいて、この波形に相似な偏向電流を流すことが可能である。この方法によれば第一に(b)なる鋸歯状波の繰返し周期を短かくできるために直線性が得やすく、第二には直線性が多少悪くても、赤、緑、青の各色像の走査域で直線性の悪さが同じようであれば、少なくとも像の重ね合わせだけにはできることになる。第三に階段波の各段の高さを可変にすることによって、図(e)に示すようにわざわざ色像ごとの走査域をずらせ、トライアッドレンズ系の垂直方向の整列不良を補正することができる。さらに第四には、鋸歯状波(b)を3つ用意し、それぞれの振幅、直線性を加減し、これらを交互に切換えて使うようにすれば、偏向コイルの磁束分布の不均一による偏向歪の補正も相当程度できることになる。

図 5.12 (a)はこのような考えに基づいて設計されたカメラ垂直偏向回路の系統図である。同じく図 5.12 (b)は鋸歯状発生回路を、(c)は(a)に対応する各部波形を示す。この回路の入力信号としては、負極性の赤、緑、青各ゲート信号と正極性の青ゲート信号を用いる。図(a)でS.T.と示したのは図



ST: 鋸齒状波発生回路
AMP: 増幅兼直線性調節
(a) 系統図



(c) 波形

図 5.12 カメラ垂直偏向回路

(b)に示すような鋸齒状波発生回路である。この回路の真空管Vの格子に図(c) a, b, cのような負極性のゲート信号を加えると、信号が負の期間はVが非導通になり、コンデンサCは抵抗Rを通してCRなる時定数で充電される。入力信号が正になるとVは導通してCに蓄えられた電荷をVを通じて急放電する。したがってVの陽極の電位は図(c) d, e, fのようになる。これらを加算するとgの波が得られる。(これが図5.11(b)に相当する。) また負極性の赤ゲート信号aと正極性の青ゲート信号hとを加え合わせると階段波iが得られる。そしてこのiと先のgを加え合わせればjなる波が得られる。これを電力増幅して偏向コイルに流すのである。jは平滑な鋸齒状波ではなく、尖りがある。このような電流を偏向コイルに流すと尖りの部分でビームは正規でない位置にとぶことになるが、ここは帰線消去期間に相当するから、画面には悪影響は現われない。

ここで考慮しなければならないことは鋸齒状波発生回路におけるCとRの値の選択である。この回路においては直線性についての制限はそれほど厳しくないが、それでも鋸齒状波の直線性はできる限りよいことが望ましい。そのためにはC・Rの値を大きくしなければならない。一方Cの放電は少なくとも帰線消去期間内に終わる必要がある。Cの放電の時定数はCの容量と導通時におけるVの内部抵

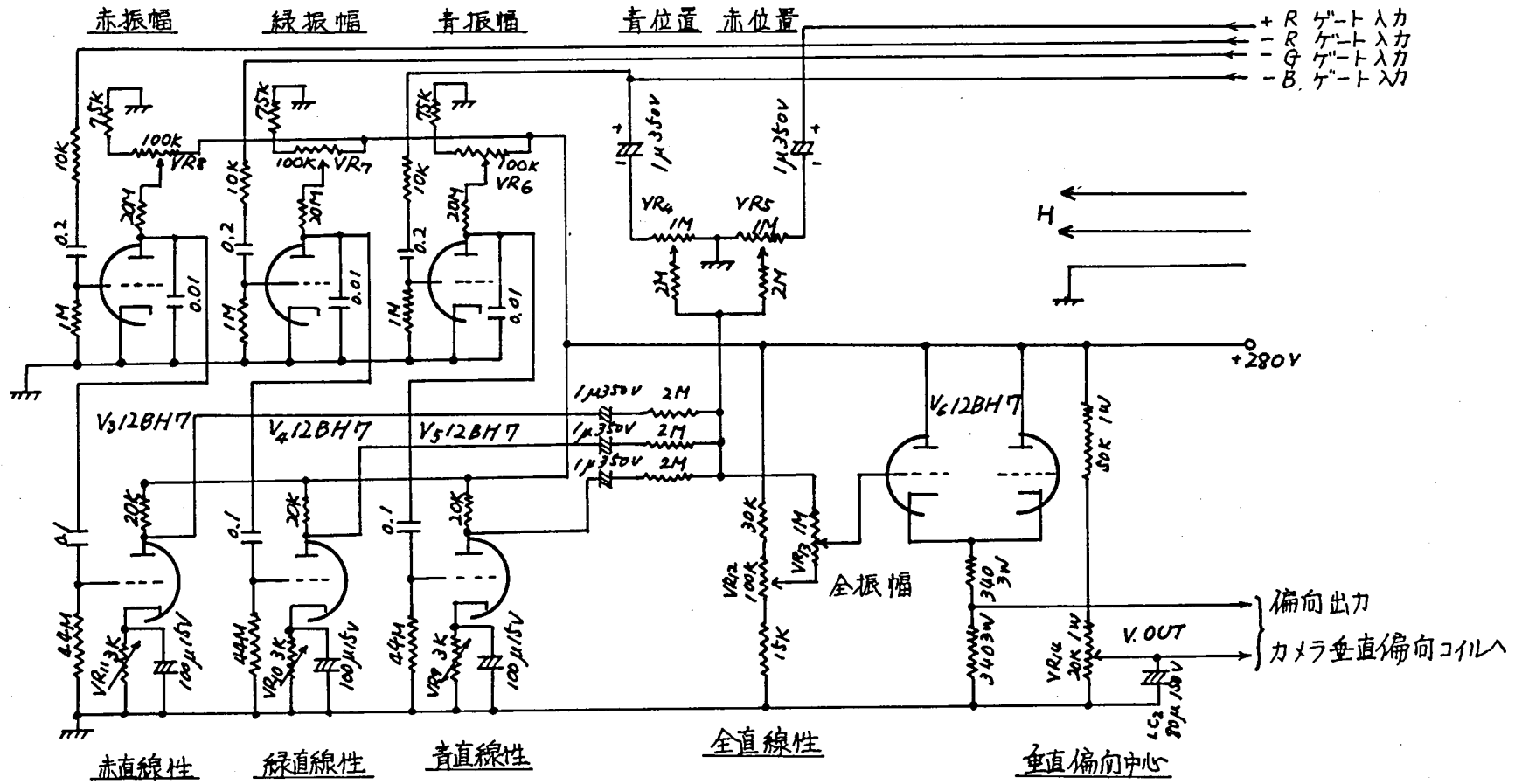


図 5.13 カメラ垂直偏向回路

抗 r_p の積で与えられるが、 r_p はある程度の大きさを持つから、時定数を小さくするためには C を小さくせねばならない。そうすると必然的に R の値は大きくとらねばならず、さらに次段の増幅回路の入力抵抗も十分大きくしなければならぬ。一方抵抗値をあまりに大きくすると抵抗素子の製作上の困難から安定性に問題を生じるようになる。これらを考慮して回路定数を決定した。

こうして設計されたカメラ垂直偏向回路の結線図を図 5.13 に示す。

5.6 カメラ水平偏向回路

カメラ水平偏向については垂直偏向のような偏向振幅および直線性についての厳しい制限はない。したがって通常の C C T V の設計を直ちに流用した。図 5.14 は本実験に用いたカメラ水平偏向回路の結線図である。同期信号発生器より水平偏向駆動パルスの供給を受け、これを積分して鋸歯状波を発生させ、これを増幅して偏向コイルに鋸歯状波電流を流す。水平偏向の周波数は高いから偏向コイルのインダクタンスを無視できない。これに対して直線的な電流を流すために鋸歯状波発生回路の容量に直列に抵抗を挿入して、鋸歯状波に尖り波形を作る。偏向の直線性の調整はこの抵抗を加減して行なり。

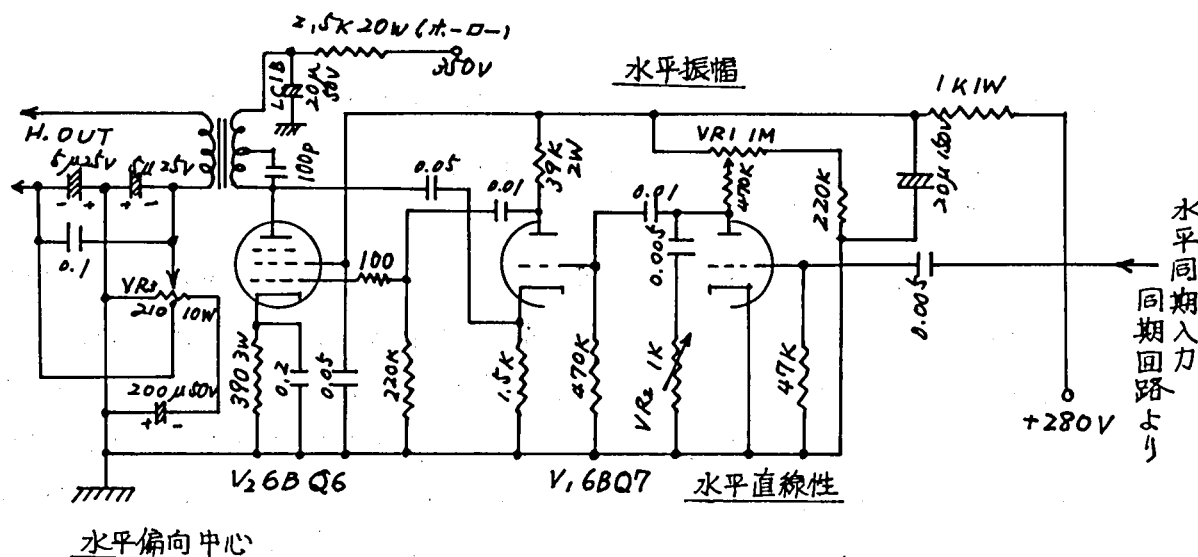


図 5.14 カメラ水平偏向回路

5.7 偏向コイルアセンブリ

(1) 偏向歪

カメラの偏向コイルアセンブリに由来する偏向歪のうち、像の重ね合わせに影響するものとしては

- (a) 偏向の直線歪
- (b) 糸巻歪およびたる形歪
- (c) S歪
- (d) ハム混入による歪

がある。このうち(a)偏向の直線歪については、像の重ね合わせに影響するのは垂直偏向の歪のみであって、その程度が小さいときは 5.5 節で述べた偏向の方法をとることによってある程度補正可能であ

る。もちろん歪のないことが望ましいことはいうまでもない。(d)ハム混入による歪については、静電および電磁シールドを完全にし、電源のリップルを除くことによって除去することができる。これに対して(b)糸巻歪およびたる形歪、および(c)S歪は回路的方法によっては補正困難であって、これらの発生が少ないコイルアセンブリを選ぶほかない。これらの歪のうちS歪はビジコンのような低速度ビーム管のビームを偏向するときに往々にして現われる歪であって、図5.15(a)のようにラスタがS形に歪むのである。本方式の場合にこの歪が現われると、受像画面上では同図(b)に示すような重ね合わせ不良が起ることになる。

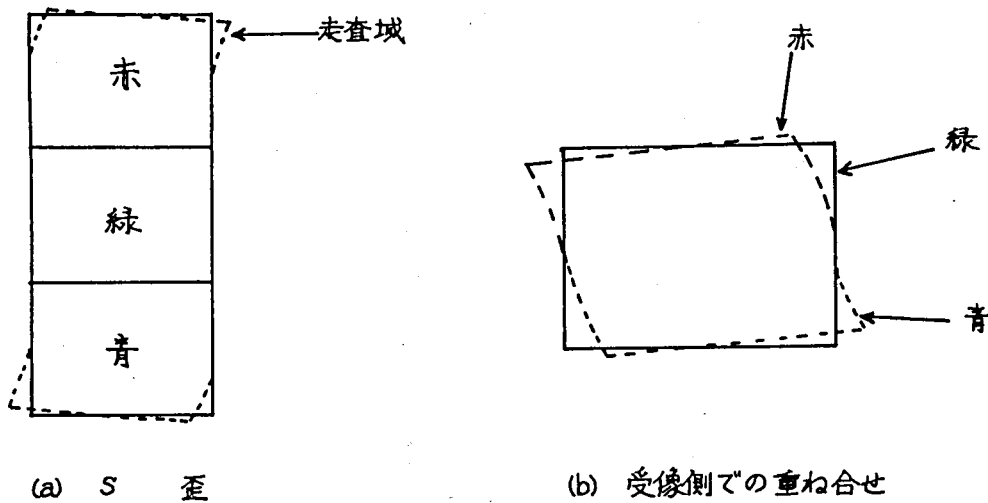


図5.15 S歪による重ね合わせの狂い

(b)および(c)の歪を少なくするには集束コイル、偏向コイルの径を大きくして、管がこれらの中心の比較的磁界が均等な部分におさまるようにすればよい。事実、3撮像管ないし4撮像管式のカラーTVカメラではこの方法をとって大型のコイルアセンブリを用いている。ただ、本方式の場合、このような大形のアセンブリを用いることは経済性の点で問題がある。そこで実験の第一段階としては大形カラー用ではなく、小形白黒放送用のコイルアセンブリを使用した。しかし実験の結果、S歪が非常に大きく、主としてこれが重ね合わせ不良の原因となることが判った。ただしこの際、ビジコン第三格子電極電圧 E_{c3} を加減して走査域周辺で最良のビーム焦点を結ばせたときには、中心で最良の焦点を結ばせた状態にくらべてS歪の量は小さいことが確められた。そこで E_{c3} に放物線電圧を重畳して、走査域全域で常に最良焦点を結ばせる、いわゆるダイナミック・フォーカシングを施すことによって周辺解像度の向上とS歪の改善が同時に行なわれることが判明した。しかしながらこの方法によっても小形コイルアセンブリを用いた場合にはS歪は十分除去できなかった。結局経済性を無視してもカラー用大形コイルアセンブリを使用せざるを得ないことがわかった。大形アセンブリを使用した場合は回路的に補正を施す必要がない程度によい重ね合わせが得られた。

(2) 直交度

垂直、水平両偏向の直交度は非常に厳密に調整しないと重ね合わせ不良を招く。通常の白黒TVカメラ用の偏向コイルアセンブリでは、両偏向コイルは1体に組立てられていて直交度を調整するのが困難である。このような場合にこれを回路的に補正する方法としては、垂直偏向電流の一部を水平偏

向コイルに流す方法がある。

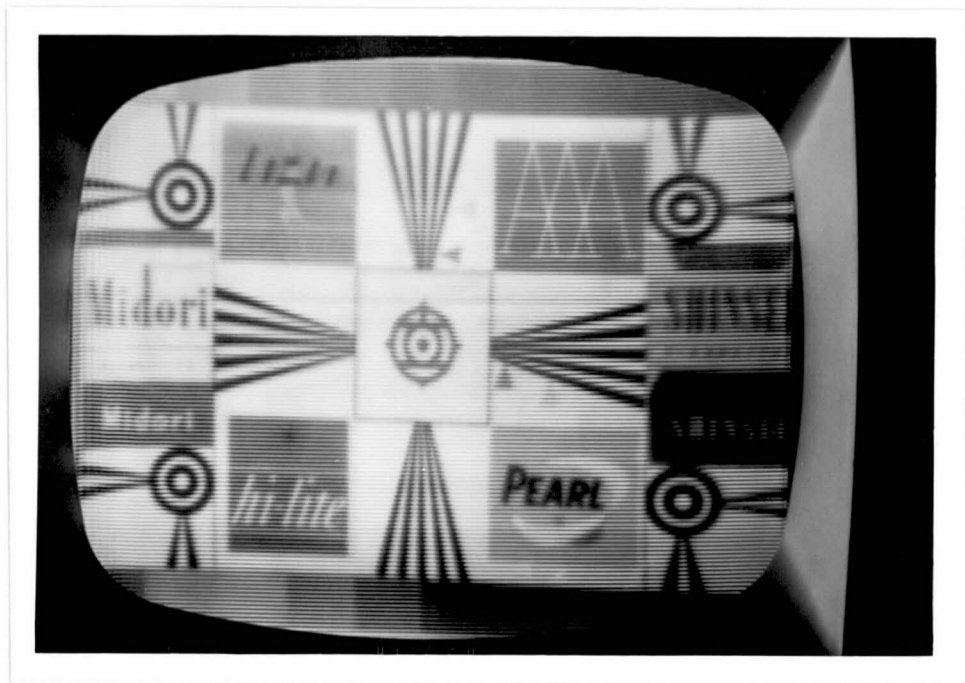
上記のカラー用大形コイルアセンブリでは機械的に両偏向コイルの直交度を調整する機構がついているから、電氣的な補正は不要である。

(3) シューズング

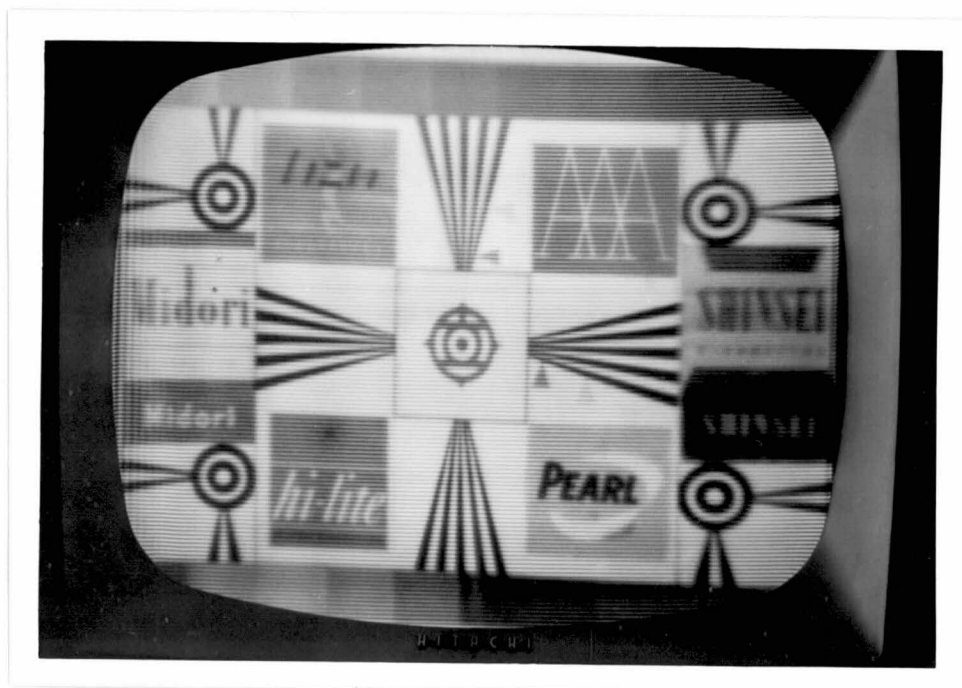
ビジコンのシューズングは管自体の特性であるとともに、偏向コイルアセンブリの構造、たとえば集束コイルと偏向コイルのそれぞれの長さ、径、相対位置などによって支配される。しかも経験的に偏向歪最小の構造とシューズング最小の構造は異なるとされている。ただし後に述べるようにシューズングはある程度回路的に補正できるのに対して、偏向歪の補正は困難であるから、コイルアセンブリの調整は偏向歪最小となるようにしておくのが妥当である。

5.8 シューズングの対策

第3章3.3節(4)で述べたように、撮像管のシューズングによって受像画面上で部分的な色相の移動が起る。図5.16(a)はシューズングがある場合の受像画面の写真であって、画面上部では赤成分が不足して色がシアンに傾き、画面下部は青成分が不足して黄がかっているのがわかる。シューズングの原因は光電面の不均一、ビームランディングの不良などであるから、最初からシューズング発生の少ないビジコンを選択すべきであることはいうまでもないが、完全にシューズングのないビジコンを求めるのは困難であるから回路的な補正を必要とする。7038, 7735Aなどのビジコンでもっとも普通に見られるシューズングは、中心部に比べて光電面周辺部で信号出力の落ち込む、いわゆるパラボラシューズングとよばれるものである。これを補正するためには従来から次のような方法が考えられている。すなわち図5.17のようにビーム偏向と同期した放物線電圧を作って、これを陰極ターゲット間電圧に重畳すればよい。すなわち、ビームが周辺にあるときターゲット電圧を高くして、信号出力を高め、シューズングによる信号出力の低下を相殺すればよいのである。シューズング効果を完全に除くためには、この補正を水平、垂直両走査方向に対して行なわなければならないが、実験の結果、垂直方向のみに補正を施しても、上記のような色相の変化に対する影響だけはほぼ除くことができることが確かめられた。ただし、シューズングの形は上下対称に、完全に放物線状に現われるとは限らないから、図5.17(b)のような単純な放物線電圧では十分補正できないことが多く、必要に応じて図5.17(c)または(d)に示すような片寄った形の補正電圧を用いなければならない。図(c)のような波形の電圧は図5.17(a)に示す鋸歯状波を比較的時定数の小さい積分回路で不完全に積分することにより容易に得られ、積分回路の時定数を大きくすると図(b)のような完全な放物線電圧が得られるが、図(d)のような右に片寄った波形の電圧はこのままでは得られない。そこで、適当な調整によって図5.17(b)(c)(d)に示した任意の波形の電圧を得るために次のような構成の回路を考案した。⁵⁷⁾ 図5.18にはその動作原理を示す。まず原波形としては撮像管の垂直偏向に対応するように図5.18(a)に示す1Sパルスをとる。これを積分して図5.18(b)の鋸歯状波を得、つぎにこれを適当なレベルでクリップして図5.18(c)のような電圧を作る。図5.18(c)に示すような波の持つエネルギーは一周期の後半において大きくなるから、これを積分すると図5.18(d)のように後半の立ち上りが大きくなるような積分波形が得られる。積分回路の時定数を実験的に適当に定めておけば、クリップレベルを調節するこ



(a) シェーリングのある場合



(b) 放物線波で補正した場合

図 5.16 シェーリングによる色相の移動とその補正

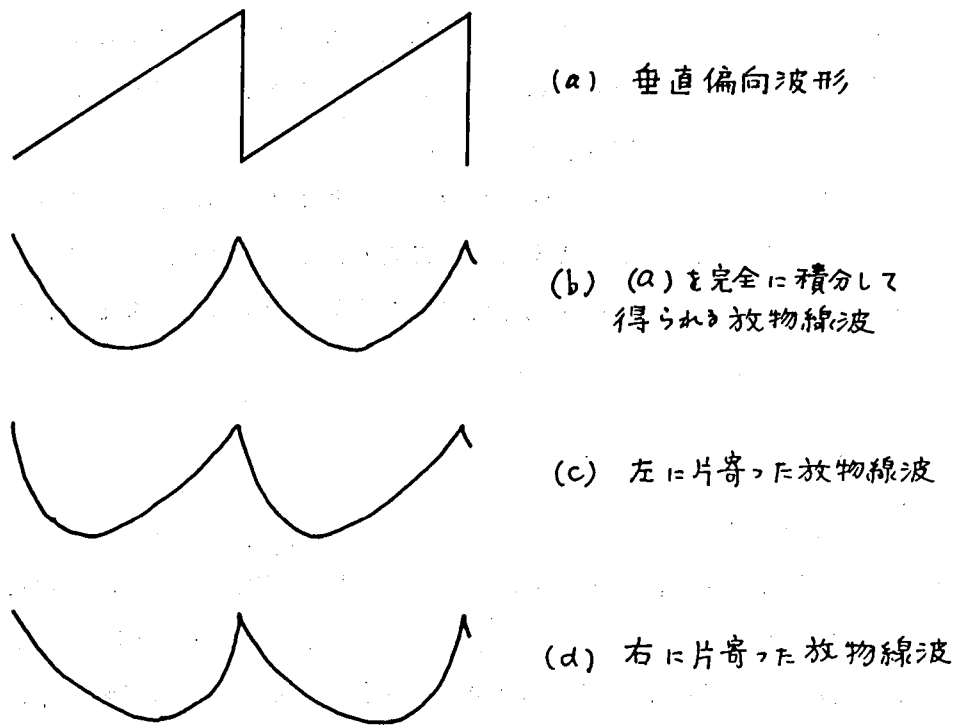


図 5.17 シェーディング補正電圧波形

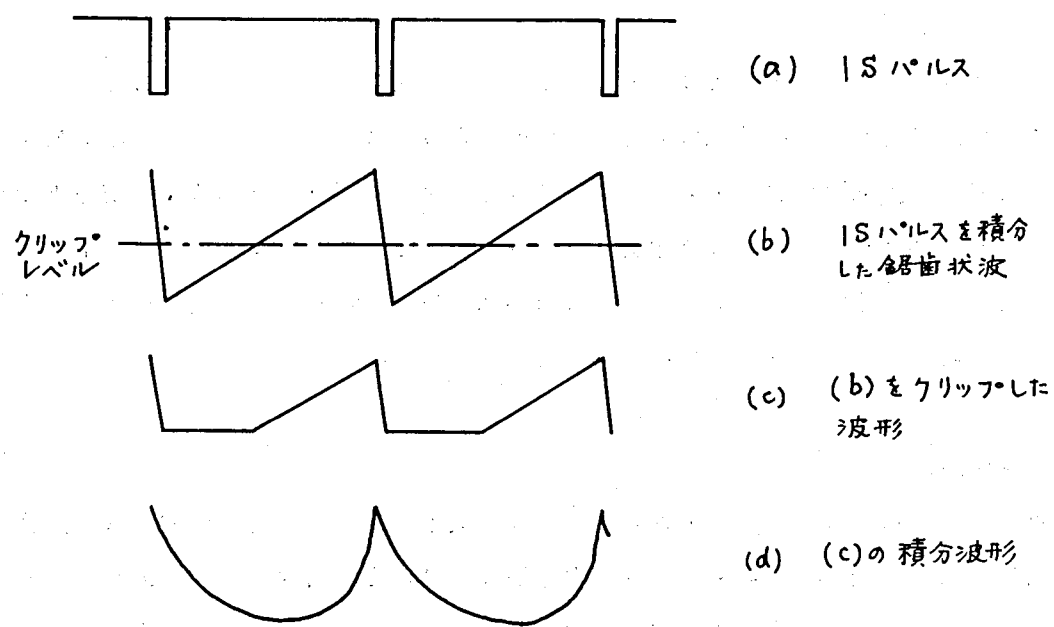


図 5.18 シェーディング補正電圧を歪ませる方法

とによって図 5.17 (b)~(d)に示した波形に近いいろいろの形の電圧が得られ、これをシェーディング補正電圧として用いればバラバラシェーディングに関する限り、だいたい完全に補正ができることになる。図 5.16 (b)はこのようにして作った補正電圧によるシェーディング補正の効果を示したものである。同図(a)にくらべて色相の変化が除かれているのがわかる。

なお撮像管の選択にあたっては、シェーディングのほか、第 3 章 3.3 節に示したように高感度、低残像などの項目に留意すべきことはもちろんである。本方式の実験では連続蒸着法により製作された光電面を持つ H 8304 を用いた。これは一般用高感度管である 7735A に比し数倍高感度のものである。

5.9 ビジコンの高電圧集束

5.9.1 高電圧集束の必要性

ビジコンの普通の集束条件は 40 gauss の集束磁界内で、集束電極に約 300V の電圧を印加することになっている。このような条件の下で受像画面上での実測解像度は約 230TV 本数であった。市販家庭用カラー TV 受像機の解像度は 230~250TV 本数であるから、この値はこれに匹敵するといえる。しかし、これは限界解像度を示すものであって、高解像領域におけるビジコンのビーム変調度特性の低下と、光学系の空間周波数に対するレスポンスの低下が相乗されて、解像限界附近のコントラストはいちじるしく低く、画質の悪いという評価を免れない。そこでビジコンの解像力を改善するために、高電圧、高磁界下におけるビーム集束を試みた。

5.9.2 実験方法

実験用偏向コイルアセンブリとしてカラー用大型のものを用い、ビジコンには H 8304 を使用した。集束コイルに流す電流を何段階かに変え、それぞれの場合についてビジコンの第 3 格子電極電圧 E_{c3} を加減してビーム集束時の値を求めた。同時に解像力テストパターンによって解像本数を測定した。この際、重ね合わせ不良のために解像度が低く測定されるのを避けるために、緑信号のみをゲートして単色で観測した。またテストパターンによる解像本数の判定は多少測定者による個人差があるので、この影響を避けるために 5 人で判定して平均値を求めた。

5.9.3 実験結果

図 5.19 はこの実験によって求めた集束コイル電流、集束電極電圧 E_{c3} と解像本数の関係を示す。集束コイル電流 40mA のとき、集束コイルの中心部における磁束密度は 40 gauss である。集束コイル電流、集束電圧を増して行くと解像力は急速に向上したが、集束コイル電流 60mA、集束電圧 600V 附近で飽和した。このときの解像本数は 320 本程度であった。これ以上集束電流、電圧を上げることは消費電力の増加、偏向所要電力の増加を招くだけであるから、上記電圧、電流の値が最適の値であると結論できる。

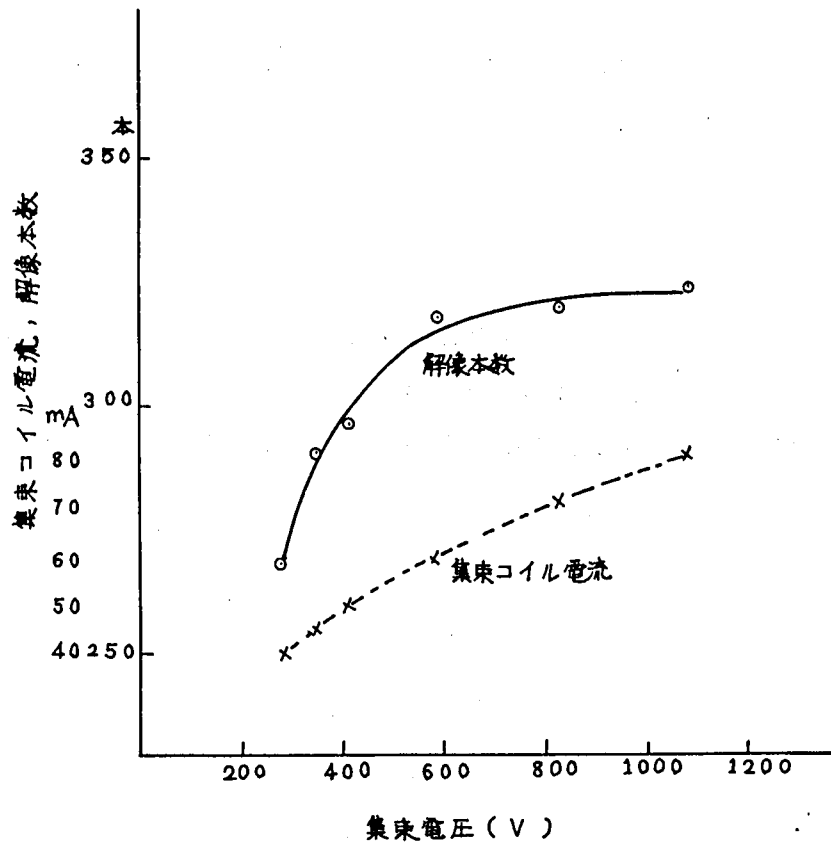


図 5.19 集束電圧と集束コイル電流，解像本数の関係

5.10 まとめ

(1) 最初に回路全体の構成を考え，これらのうち，同期信号発生回路，カメラ垂直偏向出力回路，シェーピング補正信号発生回路，ゲート信号発生回路を新たに創案し，その他の回路は従来のCCTVの回路を流用し，あるいは部分的に改良して用いた。

(2) 上記の創案回路のうち最も特色のあるのはカメラ垂直偏向出力回路である。この回路は撮像管の光電面を走査するための垂直偏向鋸歯状波を三原色像に対応する三つの部分にわけ，それぞれの部分の鋸歯状波の傾斜，位置，直線性を独立に調節できるように構成したものである。これにより垂直偏向全体としての直線性を在来回路にくらべて飛躍的に向上させることができ，また同時にトライアッドリレーレンズの，機械的調整によっては取り除くことのできない整列不良を補正することができた。これによりほぼ完全な三色像の重ね合わせが達成された。

(3) 撮像管のシェーピングによる部分的な色相のずれを，撮像管の陰極 — ターゲット間に垂直偏向と同期した放物線電圧を印加することにより，ほぼ補正することに成功した。上下非対称なシェーピングを補正するために，時間に対して非対称に変化する擬似放物線電圧を発生させる方法を考案した。

第6章 全電子式フィールド順次方式カラーテレビジョンの性能

6.1 画質

6.1.1 解像度

図6.1は実験セットで解像力テストパターンを撮影したものである。これから解像力は中心部で約280TV本数と読みとることができる。第5章5.9節で述べたように、緑色単色のみをゲートした場合には320本程度まで得られるが、3色重ねた場合に280本に低下するのは残留する重ね合わせ不良のためと推定される。

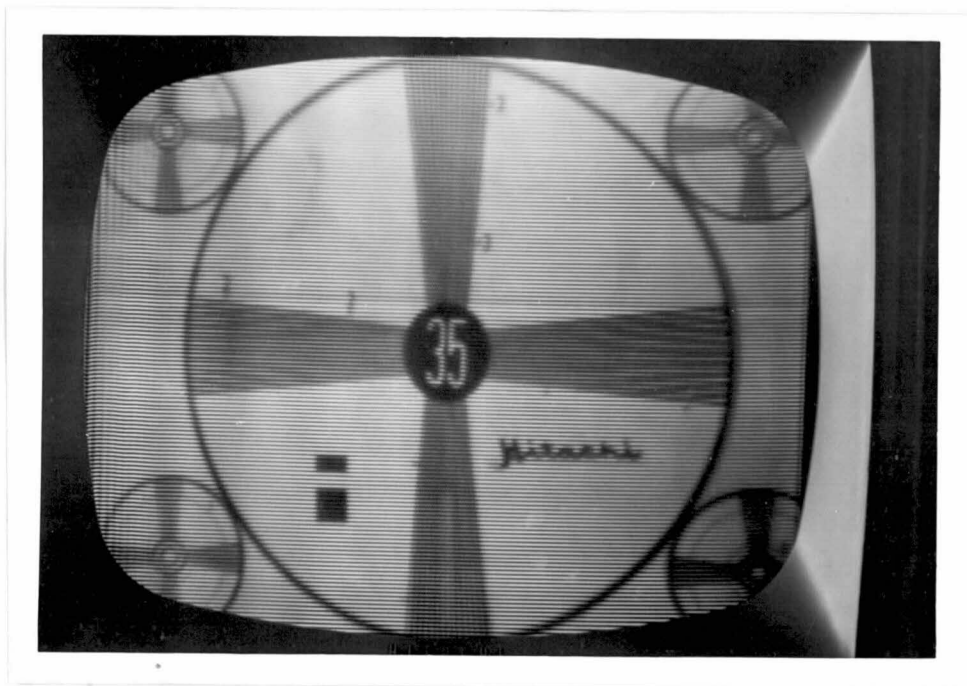


図6.1 実験装置の解像力

家庭用カラーTVセットの解像力はTV本数で220～250本程度であるから、少なくとも限界解像度に関する限り、実験セットの解像力はこれに匹敵し、あるいはこれをしのぐ。したがって伝達しようとする事象の細部については、一般放送カラーTVと同程度の情報を伝達できるといえる。これは簡易なCCTVとしては一応十分の性能であると考えられる。ただし解像限界付近では非常に悪く、画質という観点から見ると一般放送受信の場合よりむしろ劣る。この原因はビジョンのビーム変調度特性がイメージオルシコンにくらべて悪いこと、三色分解光学系、ことにリレーレンズ系の光学的レスポンスがよくないことにあると考えられる。これについては回路的に高域補正を効果的に行なうことで救済する可能性が残されている。

6.1.2 色再現性

図6.2は各種たばこの外箱を撮像した結果を示す。照明光源は白熱電球である。この被写体に関する

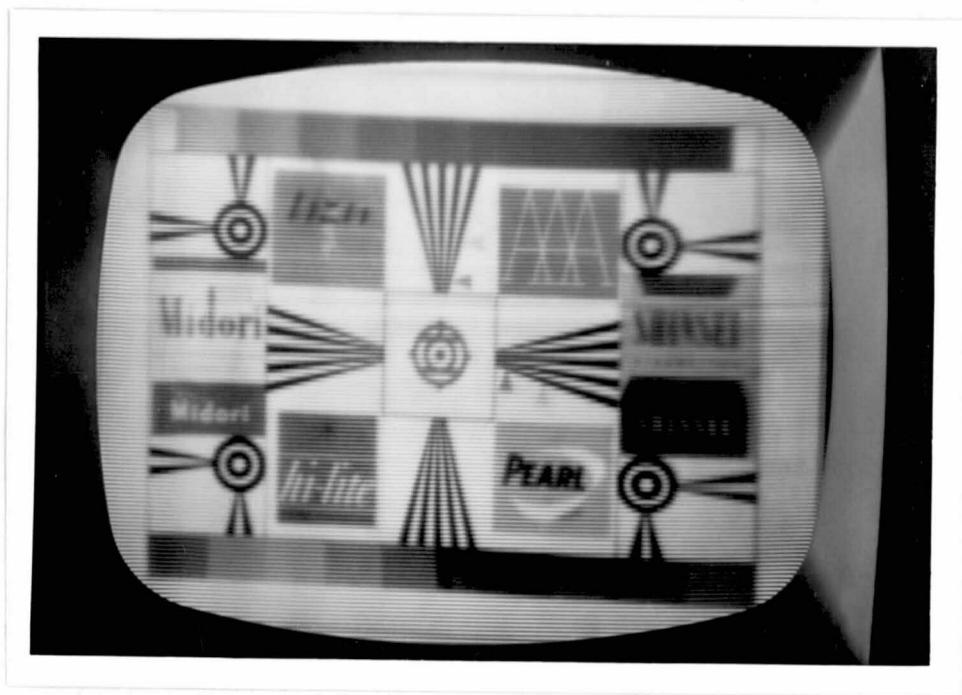


図 6.2 各種たばこ外箱

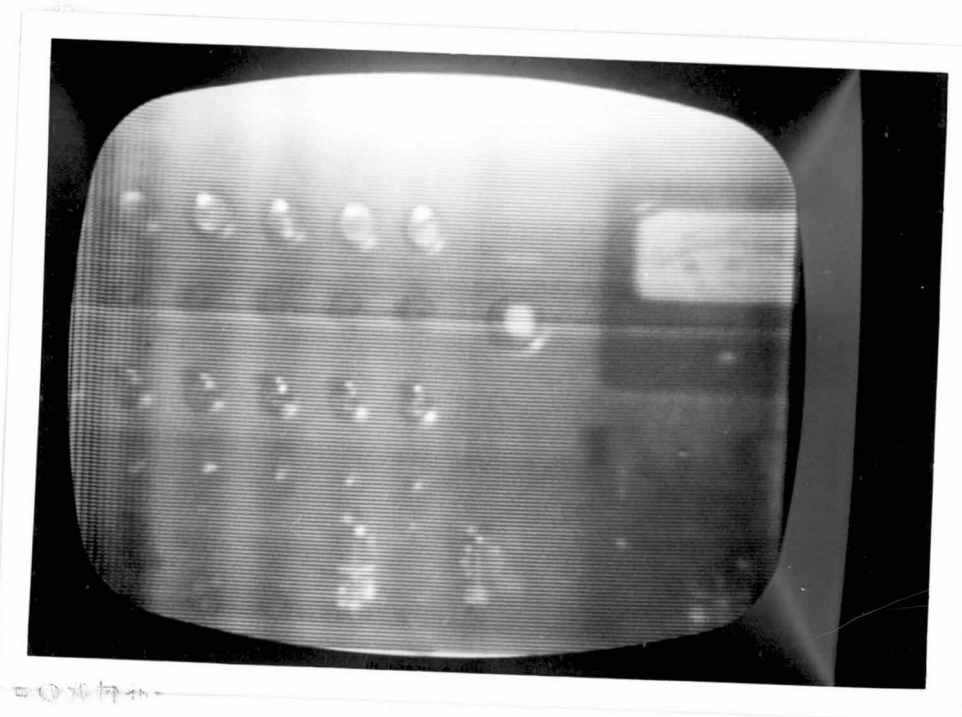


図 6.3 パイロットランプ

る限りでいえば、実用上十分の色再現性が得られているといえよう。ただし、黄色は橙寄りに再現されている。これは図 4.50 に示したように、赤チャンネルの分光感度が不必要に大きい長波長の領域を含んでいることに由来すると考えられる。もっと短波長で鋭く切れる赤外遮断フィルタが得られればこれは解決するであろう。

つぎに図 6.3 は自発光性の色光を撮像した場合を示す。画面左上部の赤と緑のパイロットランプは、

着色されたガラスの奥に小さい白熱電球が入っていて、これが発光している。この場合いちじるしいことは、これらの色が目に感じられるよりも白く、すなわち純度低く再現されていることである。この原因はカメラの三色分解光学系の各チャンネルに使われているゼラチンフィルタが赤外域で透過特性を持ち、かつこの領域の光線が十分赤外線遮断フィルタで遮断されていない上に、一方パイロットランプに用いられている色ガラス自身も赤外線を透過するためと考えられる。すなわち、まず赤色のパイロットランプの場合について考えると、光源の白熱電球から出た赤外線が色ガラスを透過した後、緑および青チャンネルの赤外透過特性のためにこれらのチャンネルに混入し、緑および青の信号を発生させる。これが本来の赤の領域の光による赤チャンネルの信号に混入して純度を下げることになる。また緑色のパイロットランプの場合には、同じく光源から発した赤外線が青チャンネルを刺激するとともに、赤チャンネルの分光感度が図4.50のように赤外領域にまでおよんでいることのために赤チャンネルをも刺激し、これら青および赤信号成分の混入のためにやはり純度が下がる。

このように赤外線を含む自発光性の光源、たとえば白熱電球、火焰などの撮像が困難であるということは、一つの実用上の限界を示す。たとえば、交通信号の監視、計器類表示板の監視、炉内監視といった産業応用に重大な支障があるということである。しかしこれは必ずしも方式自体の本質的欠陥であるとはいえない。赤外線を遮断する有効な手段が得られれば、これは解決されるからである。もちろんその手段がこの方式に適用し得るものであるかどうかが問題解決のポイントになる。

カラーTV装置の実用性を論ずるにあたって色再現性の定量的評価は欠くことのできない事柄である。しかし現状では色再現性の評価法は明確には与えられていない。色再現性の評価はそれ自身非常に大きな研究の対象となると考える。したがってこれは別の研究としてとらえたい。

6.1.3 階調

図6.2には白と黒との間を10段階にとつたグレースケールが示されている。このグレースケールの7段階が識別できる。これは一般のCCTVにおける階調識別の能力とほぼ同じである。

6.1.4 走査線構造

走査線数が少なく、やや粗いという感じを受ける。これはもともと走査線数を335本(各色)と少なくえらんだ上に、ランダム・インターレース走査法をとったためである。これはしかし方式自体の持つ本質的欠点ではない。簡易なインターレース走査方式については付録A5で述べる。

6.1.5 画面の輝度

受像管に430CB22(全硫化物系蛍光体使用)を用い、加速電圧として18kVを供給したときの受像管蛍光面の輝度は白のハイライトで約17cd/m²であった。これは普通のカラーTVセットにおける輝度の約1/3に過ぎない。これは順次方式をとる限り避け難い欠点である。この程度の輝度でも周囲照明を十分低くし、蛍光面に外光が入射することを防止すれば十分な画質を以て見ることができるが、特にこの様な注意を払わなければならないことは実用上は大きな欠点である。蛍光面の輝度を向上させるためには加速電圧を高くするのが有効であるが、大きい偏向電力が必要となるほか、軟X線発生の危険を生ずる。

6.2 感度

本実験装置で十分よい画質の画を得るためには被写体照度 5000lx を必要とした。図 6.1 および図 6.2 はいずれも白熱電球を光源として、被写体照度 5000lx で撮像したものである。一応色の再現出来るための最低照度は約 1000lx である。これは白黒の C C T V とくらべると 10 倍以上悪い感度であり、カラー C C T V としてもよい感度とはいえない。感度の悪い最大の原因は三色分解光学系である。その第 1 は色分解のためにダイクロイックミラーあるいはダイクロイックプリズムを用いないでフィルタを使用していることであって、この場合透光されて通過する領域以外の波長成分は捨て去られるために、光の使用効率が低いのである。第 2 はリレーレンズの口径が小さいことである。これらはいずれもトライアッド式光学系では本質的な問題である。

ただし、カラー T V 放送のためのスタジオ照明は最低 3000lx 、普通 $4000\sim 8000\text{lx}$ の照明が施されるから、これから考えると、本実験装置の感度は極端に悪いとはいえない。一応実用性の議論の対象となり得る感度を有するといえる。さらに白熱電球で照明する場合には赤チャンネルと緑チャンネルの絞りを絞り込んで、青チャンネルにくらべて感度を落さなければならないが、昼光のように可視域で分光エネルギー分布に比較的山や谷の少ない平坦な光源で照明する場合には、各チャンネルのリレーレンズの絞りを均等に開けることができるので、今少し必要照度は小さくすることができる。

6.3 安定度

色同期はきわめて安定で、回転フィルタ式でときたま起る、同期の乱れ、外れは全然生じない。

この方式の場合とくに問題になる点は温度、湿度などの周囲条件および時間に対する安定性である。とくに垂直偏向の振幅、直線性とビジコンの集束電流、電圧は厳密に安定化しないとイケない。本実験装置の場合、約 5 分間の安定化時間を必要とした。すなわち安定した画像の重ね合わせが得られるまでに約 5 分間を要した。実際には C C T V は連続使用されることが多いと考えられるので、安定化時間が必要であるということ自身はそれほど実用上大きな障害になるとは思われない。

6.4 まとめ

(1) 画質、感度、安定度の三点から全電子式フィールド順次方式カラー C C T V の実用性を検討した。その結果、限界解像本数 280 本、ハイライトの輝度約 $17\text{cd}/\text{m}^2$ 、実用必要照度約 5000lx 、安定化時間約 5 分間で、簡易 C C T V としては実用性のあることが結論された。

(2) 色再現性は一応良好であると観察されたが、定量的評価は困難で、別の研究課題として残された。またランダム・インターレース走査のため走査線構造が粗く、簡易なインターレース走査法の考案も問題として残った。

第 7 章 結 言

本論文は、機械的回転機構を用いない全電子的な方法によるフィールド順次方式カラーCCTVシステムの実用化に関する研究の結果をまとめたものである。以下本研究によって得られたおもな成果について述べる。

1. カラーCCTVの実用化にあたっては、性能の高いもの、とくに色再現性を含む画質の良好なものを開発する必要があるが、同時に経済性を考慮せねばならない。経済性の点で最も優れている方式はフィールド順次方式であるが、フィールド順次のカラーテレビ信号を発生させる方法として色フィルタを回転させる方法をとると撮像管の残像のために色再現性が非常に悪くなる。原理的に色再現性のよいフィールド順次方式を構成するためには、色フィルタ回転機構を除いて全電子的にフィールド順次信号を発生させる方法を採用する以外ないという結論に達した。すなわち、特別の三色分解光学系を作って1本の撮像管の光電面上に赤、緑、青の三原色像を垂直に並べて結像させ、この原色像に対応する電子像を電子ビームで順次走査することによってフィールド順次信号を発生させることができ、この場合には残像による混色を原理的に除くことができるから、色再現性を良好に保つことが可能である。

2. 全電子式フィールド順次方式を実現するための問題点を検討した結果、この方式に適した三色分解光学系が得られるか否か、カメラ垂直偏向の直線性を実質的に誤差0.3%以内といった厳密な値に保つ方法が発見できるか否かという二点がシステムの成否を左右する根本的な問題点であるという結論に達した。

3. この方式に適用できるような4種の三色分解光学系を考案したが、その中でも三つのレンズ片を組み合わせて一つのリレーレンズ群を構成する方法が実用性の点で最適であると結論した。そしてこのリレーレンズ群をトライアッドレンズと名付けた。

トライアッドレンズを構成する単位レンズ片としてはセメントドダブルットレンズを用いるのが最適であるという結論を得、これにもとづいてトライアッドレンズの設計を行なった。

レンズ片の整列が不良であると三色像の重ね合わせが得られない。三色像の完全な重ね合わせを得るためにレンズ片に要求される機械的仕事の精度は厳重で、このようなものを実際に製作することは極めて困難である。この難点を解決するために、単位レンズ片のうち2枚のレンズ片を接合固定、残り1枚のレンズ片を摺動可能とし、さらにリレーレンズ群全体を回転可能とするような整列機構を考案し、これによってレンズ片の工作精度がかなり悪くても三色像のほぼ完全な重ね合わせが得られるような光学系を構成することに成功した。

4. カメラの垂直偏向の直線性は通常の偏向電流発生回路をいかに改良しても得られなかったが、これを独特の方法で解決した。すなわち、垂直偏向の鋸歯状波を、各三原色像に対応する電子像の部分を走査する三つの小さな鋸歯状に分割し、これらを合成して一つの偏向電流とした。こうすると三つの鋸歯状波の直線性そのものは必ずしも厳密に保たれなくても、直線性からのずれの程度が揃っていさえすれば、実質的に三色像の完全な重ね合わせが得られることになる。三つの小鋸歯状波の直線性からのずれの程度を揃えることは比較的容易に実現できる。さらにこれら三つの小鋸歯状波の振幅と位置関係を微細に調整することにより、リレーレンズ片に残存する機械的整列誤差をも補正すること

ができる。この方法を考案し回路的に実現することによって、三色像の完全な重ね合わせが達成された。

5. なおその他、ビジコンのシェーディングによる部分的な色相移動をビジコンの陰極とターゲットの間に垂直偏向と同期した放物線電圧を印加することにより補正し、また高電圧集束を採用することによって解像力の向上をはかるなどの考案を行なった。

以上のような一連の考案によって全電子式フィールド順次方式カラーCCTVシステムの実用化に成功したのである。

序論でも述べたように、電子工学の進歩は日進月歩である。かつて技術的に困難とされていたことが可能性を再発見されて技術の流れを変えたりする。閉回路カラーテレビジョンの方式もますます多様化して、あらゆる可能性が探られている。その中であって、本研究の成果もその一つの可能性を与えたものと信じている。最近Bell研究所でカラーテレビ電話の方式の一つとして筆者の方式を検討し、たとえば筆者の考案した垂直偏向の方法などを採用したことが報告されており、⁵⁸⁾ いまもなお本研究の工学的意義がいささかなりとも認められていることを喜びとするものである。

謝 辞

最初に筆者が京都大学在学当時から今日に至るまで、研究生活全般にわたって御指導賜り、とくに本論文をまとめるにあたって懇篤に御指導賜った京都大学教授・阪口忠雄博士に厚く御礼申し上げます。

本論文は筆者が株式会社日立製作所中央研究所において行った工業用テレビジョンに関する研究結果をまとめたものである。研究の機会を与えて頂いた中央研究所幹部の方々に御礼申し上げます。

研究途上、日立製作所・武井幸夫博士、関口存哉博士、菅原理夫博士（現在山梨大学教授）、及川充博士、日比正男氏その他多くの方々の御指導を仰いだ。殊に日比氏には直接の上長として、終始懇篤に御指導頂いた。

光学系の設計にあたっては小倉磐夫博士（現在東京大学助教授）、オリンパス光学工業株式会社・早水良定氏の御助言を得た。

実験については日立製作所・三友勇氏、江谷英男氏の全面的な御協力を得た。

これらの方々の御好意なしには本研究は到底達成できなかったであろう。ここに併せて深甚の謝意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) 西村, 武井, 日比: 「温度間接測定方式」, 特許公報昭39-26818
- 2) 例えば V. A. Zworykin, G. A. Morton: "Television," p. 764, John Wiley & Sons (1954)
- 3) テレビジョン工学ハンドブック, p. 977, オーム社 (1959)
- 4) 例えば 日本放送協会編: 「カラーテレビジョン」, p. 466, 日本放送出版協会 (1961)
- 5) 文献(4) p. 221
- 6) D. C. Livingston: "Colorimetric Analysis of the NTSC Color Television System," Proc. IRE., 42, p. 138 (1954)
- 7) F. J. Bingley: "Colorimetry in Color Television Part I, Part II," Proc. IRE., 42, p. 48, (1954)
- 8) B. D. Loughlin: "Recent Improvements in Band-Shared Simultaneous Color-Television System," Proc. IRE., 39, p. 1264, (1951)
- 9) I. C. Abrachams: "Choice of Chrominance Subcarrier Frequency in the NTSC Standards," Proc. IRE., 42, p. 79, (1954)
- 10) E. G. Clark, C. H. Phillips: "Color Demodulators for Television Receivers," Electronics, 27, No. 6, p. 164, (1954)
- 11) 文献(3) p. 1068
- 12) 有岡: 「分離輝度カラーカメラ」, 東芝レビュー, 20, p. 1038, (1965)
- 13) 林: 「分離輝度カラー撮像方式」, テレビ誌, 17, p. 91, (1963)
- 14) 林, 杉本: 「2撮像管式分離輝度カラーカメラ」, テレビ誌, 20, p. 303, (1966)
- 15) 林, 藤尾, 杉本, 坂井: 「2撮像管分離輝度方式カラーカメラ」, 昭38信学会全国大会予稿 582
- 16) 杉本: 「2撮像管分離輝度カラーカメラの黒インデックスパルス抽出回路について」, 昭39電気四学会連大予稿 1623
- 17) 和久井, 佐藤, 詫間, 井上: 「2撮像管分離輝度カラーカメラの点順次信号発生特性」, 昭40電気四学会連大予稿 2127
- 18) 杉本, 坂井: 「2 I. O. 分離輝度カラーカメラの順次 — 同時変換系について」, 昭40電気四学会連大予稿 2129
- 19) 高木, 長原: 「単一撮像管同時式カラーカメラの考察(第一報)」, テレビジョン学会回路研究委員会資料45-4 (1963)
- 20) 山崎: 「単一撮像管カラーカメラ」, テレビ誌, 18, p. 530, (1964)
- 21) 金岡, 川崎, 池田: 「周波数分離型カラーテレビジョンカメラの考察」, 第1回テレビ学会全大予稿 2-7 (1965)
- 22) 長原, 長島, 高木: 「周波数分離形カラーカメラとその一応用」, 第2回テレビ学会全大予稿 4-11 (1966)

- 23) 小松, 長原: 「単管式イメージオルシコンカラーカメラ」, 第3回テレビ学会全大予稿 4-8 (1967)
- 24) L.H. Bedford: "Problems of Television Camera and Camera Tubes," J. Brit. IRE., 14, p.464, (1954)
- 25) 文献(2) p.825
- 26) 文献(2) p.776
- 27) W. Boothroyd: "Dot System of Color Television," Electronics, 22, No.12, p.88, (Dec.1949)
- 28) W. Boothroyd: "Dot System of Color Television," Electronics, 23, No.1, p.96, (Jan.1950)
- 29) "An Analysis of the Sampling Principles of the Dot-Sequential Color Television System," RCA Rev., 11, p.255, (1950)
- 30) N. Marchand, H. R. Holloway, M. Leifer, "Analysis of Dot-Sequential Color Television," Proc. IRE., 39, p.1280, (1951)
- 31) 文献(2) p.774
- 32) "The Present Status of Color Television," Proc. IRE., 38, p.980, (1950)
- 33) 文献(2) p.771
- 34) P. C. Goldmark, J. H. Dyer, E. R. Piore, J. M. Hollywood: "Color Television — Part I," Proc. IRE., 31, p.162, (1942)
- 35) P. C. Goldmark, J. H. Dyer, E. R. Piore, J. M. Hollywood, J. H. Chambers, J. J. Reeves: "Color Television — Part II," Proc. IRE., 31, p.465, (1943)
- 36) P. C. Goldmark, J. W. Christensen, J. J. Reeves: "Color Television — U.S.A. Standard," Proc. IRE., 39, p.1288, (1951)
- 37) "Description of CBS Colour Television System," J. Brit. IRE., 10, p.154, (1950)
- 38) 川崎, 池田: 「フィールド順次カラーテレビジョンカメラのビデオン残像による色再現の限界」, 第1回テレビ学会全大予稿1-8 (1965)
- 39) 川崎, 中沢: 「フィールド順次方式カラーテレビジョンカメラにおける色相補正法」, 特許公報 昭39-21683
- 40) 道家, 藤原: 「テレビジョン信号補正方式」, 特許公報 昭38-23722
- 41) 島田, 岡田, 伊藤, 窪田: 「線順次カラー再生方式における各種色線配列順序の研究」, 第1回テレビ学会全大予稿2-4 (1965)
- 42) F. H. McIntosh, A. F. Inglis: "Color Television," J. SMPTE., 55, p.343, (1950)
- 43) 日比, 西村, 三友, 江谷: 「簡易型カラーITVの一方式」, 昭40電気四学会連大予稿2137

- 44) 日比, 西村, 三友, 江谷: 「新方式カラー I T V の諸問題」, 第 1 回テレビ学会全大予稿 2 - 9 (1965)
- 45) T.Nishimura, M.Hibi, I.Mitomo, H.Etani: "An All-Electronic Field-Sequential Closed-Circuit Color Television System," J.SMPTE., 76, p.21, (1967)
- 46) 文献(3) p.1106
- 47) D.G.Fink: "Television Engineering Handbook," p.8-22, McGraw-Hill, (1957)
- 48) 文献(7) p.3-14
- 49) P.G.Hoel: "Introduction to Mathematical Statistics," p.276, John Wiley & Sons, (1962)
- 50) 文献(4) p.452
- 51) H.de Lang, G.Bouwhuis: "Color Separation in Color-TV Cameras," Philips Tech. Rev., 24, p.263, (1963)
- 52) 中村, 富岡: 「レンズ収差論」, 宗高書房 (1957)
- 53) 芦田: 「光学レンズ」, 物理実験学第五巻 p.231, 河出書房, (1939)
- 54) 文献(4) p.154
- 55) 文献(4) p.53, p.61, p.118, p.156
- 56) 日比, 西村, 三友, 江谷: 「簡易カラー I T V のカメラ偏向方式」, 昭 40 電気四学会連大予稿 2138
- 57) 西村, 三友: 「波形整形回路」, 実用新案 850648
- 58) R.L.Eilenberger, F.W.Kammerer, J.F.Muller: "Compact Optical System for Field/Line Sequential Color Videotelephone Camera," J.SMPTE., 79, p.1063, (1970)

A 1 物面と像面が薄いレンズの主点面上で交わることの証明

いま図 A 1.1 において L を薄いレンズ，P をその主点， $\overline{AA'}$ を線状の物体， $\overline{BB'}$ をレンズ L による $\overline{AA'}$ の像とする。物体の足 A は L の光軸 X-X' 上にあるとすると像の足 B もまた X-X' 上にあることになる。 $\overline{AA'}$ とレンズ L の主点面すなわち主点 P を含んで光軸 X-X' に垂直な平面との交点を A'' とし，同じく $\overline{BB'}$ と L の主点面との交点を B'' とする。A, A', P, B, B' は同一平面上にあるから，A'', B'' もまた同じ平面上にあることになり，P, B'', A'' は 1 本の直線上にある。物体の先端 A' から光軸 X-X' に下した垂線の足を C，像の先端 B' から光軸に下した垂線の足を D とする。

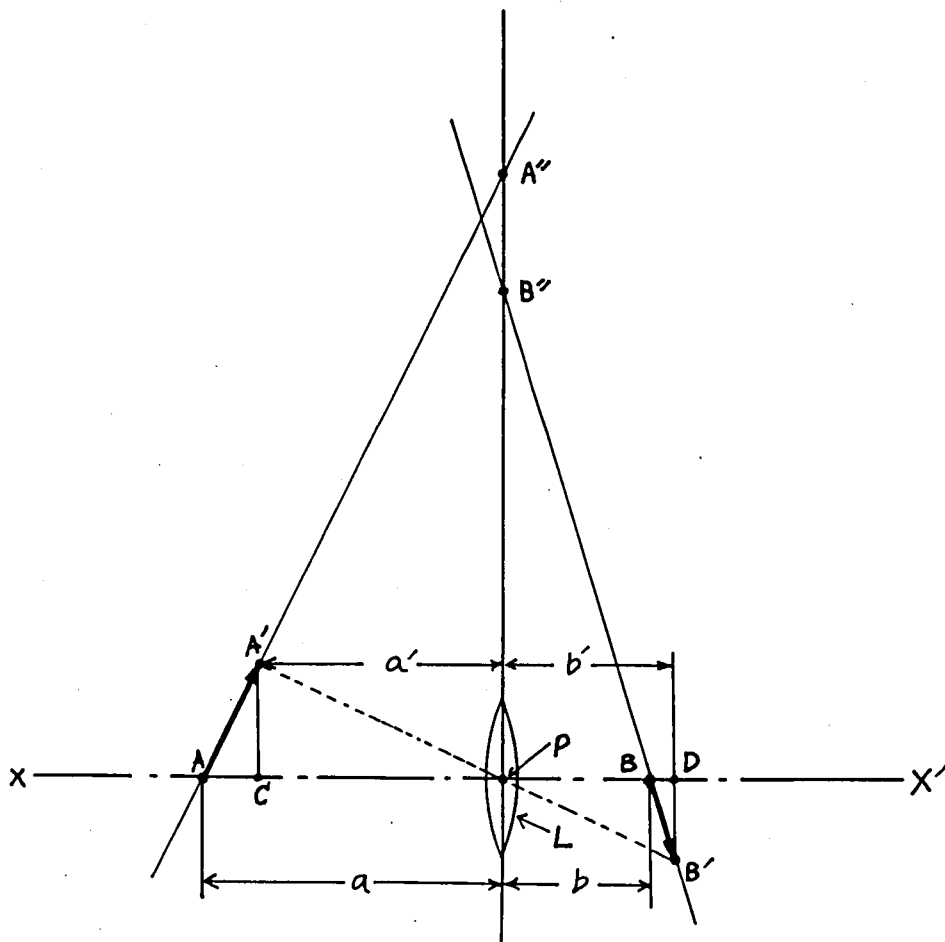


図 A 1.1 物体，像と薄いレンズの関係

$\overline{AP} = a$ ， $\overline{PB} = b$ とし，A' と L の主点面間の距離を a' ，B' と L の主点面間の距離を b' とする。また L の焦点距離を f とすると明らかに

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{a'} + \frac{1}{b'} = \frac{1}{f} \quad (\text{A 1.1})$$

つぎに
$$\overline{A''P} = \frac{\overline{A'C}}{\overline{AC}} \cdot a \quad (\text{A 1.2})$$

$$\overline{B''P} = \frac{\overline{B'D}}{\overline{BD}} \cdot b \quad (\text{A 1.3})$$

また
$$\frac{\overline{B'D}}{\overline{A'C}} = \frac{b'}{a'} \quad (\text{A 1.4})$$

$$\overline{AC} = a - a' \quad (\text{A 1.5})$$

$$\overline{BD} = b' - b \quad (\text{A 1.6})$$

であるからこれらを用いて (A 1.3) を書き直すと

$$\overline{B''P} = \frac{b' (a - a')}{a' (b' - b)} \cdot \frac{\overline{A'C}}{\overline{AC}} \cdot b \quad (\text{A 1.7})$$

しかるに (A 1.1) より
$$\frac{1}{a'} - \frac{1}{a} = \frac{1}{b} - \frac{1}{b'} \quad (\text{A 1.8})$$

(A 1.8) を変形して
$$\frac{a - a'}{b' - b} = \frac{aa'}{bb'} \quad (\text{A 1.9})$$

(A 1.9) を (A 1.7) に代入すると

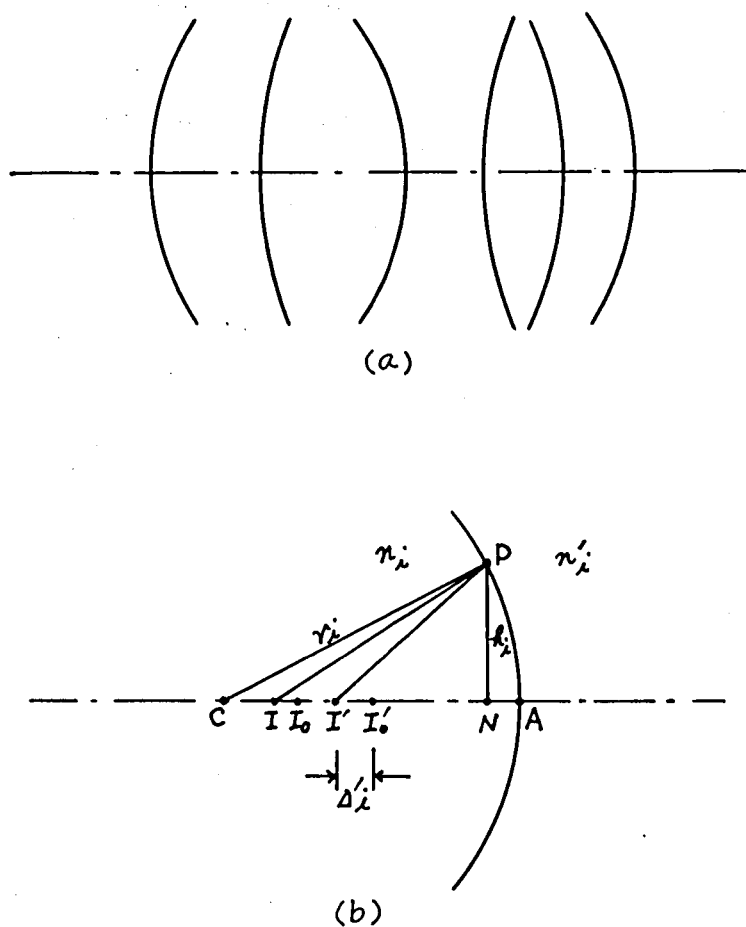
$$\overline{B''P} = \frac{\overline{A'C}}{\overline{AC}} \cdot a = \overline{A''P} \quad (\text{A 1.10})$$

を得る。A'', B'', P は一直線上にあってかつ $\overline{A''P} = \overline{B''P}$ であるから A'' は B'' と同一点でなければならない。これで $\overline{AA'}$ の延長と $\overline{BB'}$ の延長は L の主点面上の一点で交わることが証明された。

つぎに $\overline{AA'}$ を含む一つの平面を考えるとこの平面は L の主点面と一線で交わる。A を中心として物体の先端 A' を $\overline{AA'}$ を含むこの平面上で回転させると $\overline{AA'}$ の延長と L の主点面との交点 A'' は、この平面と L の主点面との交線上を移動することになる。この際 $\overline{AA'}$ のレンズ L による像 $\overline{BB'}$ の延長と L の主点面との交点 B'' はさきの考察により A'' と一致して動くから、 $\overline{AA'}$ を含む平面と L の主点面との交線はまた $\overline{BB'}$ を含む平面と L の主点面との交線でなければならない。したがって物体 $\overline{AA'}$ を含む平面と像 $\overline{BB'}$ を含む平面との交線は L の主点面上にあるという関係が証明されたことになる。

A 2 薄い単レンズの球面収差

一般のレンズ系は図A 2.1に示すように中心が共通の直線（光軸）上にあるような球面の連なりである。これらの球面のうち第*i*番目の球面をとり、その曲率半径を r_i 、この球面の前方の空間の屈折率を n_i 、後方の空間の屈折率を n'_i とする。第*i*-1番目までの球面を通った近軸光線が光軸上に作った像点を I_0 とし、 I_0 からさらに発して第*i*番目の球面を通して作る同じ近軸光線による像点を I'_0 とする。光軸が第*i*番目の球面と交わる点をAとし、 $\overline{AI_0} = s_i$ 、 $\overline{AI'_0} = s'_i$ とする。また近軸光線以外の周縁光線が第*i*番目の球面に入射する点をPとし、Pの入射高すなわち光軸とP点間の距離を h_i とする。P点を通った周縁光線の作る像を I' とすると $\overline{I'I'_0}$ は像界における球面収差 Δ'_i である。そしてこのとき球面収差 Δ'_i は



図A 2.1 レンズ系の球面収差

$$\left. \begin{aligned} \Delta'_i &= -\frac{s_i'^2}{2n'_i h_i^2} \sum_i Q_{si}^2 h_i^4 \left(\frac{1}{n'_i s'_i} - \frac{1}{n_i s_i} \right) \\ Q_{si} &= n_i \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{s_i} \right) = n'_i \left(\frac{1}{r_i} - \frac{1}{s'_i} \right) \end{aligned} \right\} \quad (\text{A 2.1})$$

で与えられる。

そこでこれを用いて、薄い単レンズの場合に、物点距離または投影倍率を与えて球面収差を計算する式を誘導する。

図A 2.2に示すように単レンズの場合は球面は2面である。それらの曲率半径を r_1 、 r_2 とする。

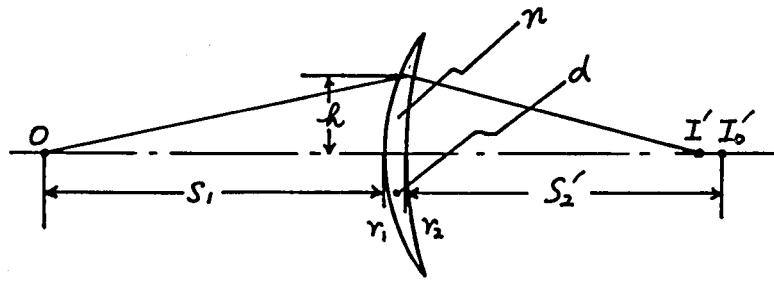


図 A 2.2 単レンズの球面収差

第一面の前方空間は真空または空気であるからその屈折率 $n_1 = 1$ である。第 1 面の後方空間はガラスであるから、その屈折率を n とし $n'_1 = n$ である。第 2 面前方空間はすなわち第 1 面後方空間と同じであるから $n_2 = n'_1 = n$ 、第 2 面後方空間はふたたび真空または空気、 $n'_2 = 1$ である。物点を O とし、 O より発して第 1 面、第 2 面を通過した近軸光線による像を I'_0 、周縁光線による像を I' とする。物点距離すなわち物点 O と第 1 面間の距離は s_1 、第 1 面によって屈折せしめられた近軸光線が作る像点と第 1 面間の距離が s'_1 、同じ像点と第 2 面間の距離が s_2 、この近軸光線が第 2 面によって屈折せしめられて作る像点 I'_0 と第 2 面間の距離が s'_2 である。単レンズを薄いレンズとすると、第 1 面と第 2 面間の距離 $d = 0$ であるから $s'_1 = s_2$ であり、また第 1 面および第 2 面に対する周縁光線の入射高 h_1, h_2 は等しく、 $h_1 = h_2 = h$ である。レンズの焦点距離を f とすると

$$\frac{1}{f} = (n - 1) \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (\text{A 2.2})$$

であるからこれを変形して

$$\frac{1}{r_2} = \frac{1}{r_1} - \frac{1}{(n-1)f} \quad (\text{A 2.3})$$

また投影倍率の逆数すなわち $\frac{s_1}{s'_2} = k$ とおくと、 $\frac{1}{s_1} + \frac{1}{s'_2} = \frac{1}{f}$ から

$$s_1 = - (1 + k) f \quad (\text{A 2.4}) (***)$$

$$s'_2 = \frac{1 + k}{k} f \quad (\text{A 2.5})$$

である。これらの数値を用いて

$$\begin{aligned} Q_{s1} &= n_1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{s_1} \right) = n'_1 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{s'_1} \right) \\ &= \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{s_1} \right) = n \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{s'_1} \right) \end{aligned} \quad (\text{A 2.6})$$

(*) 第 4 章式 (4.12) ではこれを m' とおいたが、煩雑を避けるためここでは k とする。

(**) 球面から見て物点または像点が左にあるとき距離の符号は負、右にあるとき正と定義する。

$$\begin{aligned}
Q_{s_2} &= n_2 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{s_2} \right) = n'_2 \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{s'_2} \right) \\
&= n \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{s_2} \right) = \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{s'_2} \right) \quad (\text{A 2.7})
\end{aligned}$$

(A 2.6) から

$$\frac{1}{s'_1} = \frac{1}{s_2} = \frac{1}{n} \left\{ (n-1) \frac{1}{r_1} + \frac{1}{s_1} \right\} \quad (\text{A 2.8})$$

そして

$$\begin{aligned}
S &= \sum_i Q_{s_i}^2 \left(\frac{1}{n'_i s'_i} - \frac{1}{n_i s_i} \right) \\
&= \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{s_1} \right)^2 \left[\frac{1}{n^2} \left\{ (n-1) \frac{1}{r_1} + \frac{1}{s_1} \right\} - \frac{1}{s_1} \right] + \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{s'_2} \right)^2 \left[\frac{1}{s'_2} - \frac{1}{n^2} \left\{ (n-1) \frac{1}{r_1} + \frac{1}{s_1} \right\} \right] \\
&= \left\{ \frac{1}{r_1} + \frac{1}{(1+k)f} \right\}^2 \left\{ \frac{n-1}{n^2} \frac{1}{r_1} - \frac{1}{n^2} \frac{1}{(1+k)f} + \frac{1}{(1+k)f} \right\} \\
&\quad + \left\{ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{(n-1)f} - \frac{k}{(1+k)f} \right\}^2 \left\{ \frac{k}{(1+k)f} - \frac{n-1}{n^2} \frac{1}{r_1} - \frac{1}{n^2} \frac{1}{(1+k)f} \right\} \\
&= \left(1 + \frac{2}{n} \right) \frac{1}{f} \left(\frac{1}{r_1} \right)^2 + \frac{1}{f^2 n^2} \left[\frac{1-2n-2n^2}{n-1} + \frac{n+1}{(1+k)} \left\{ (1-k)(2n-1)+2 \right\} \right] \left(\frac{1}{r_1} \right) \\
&\quad + \frac{1}{1+k} + \left(k + \frac{1}{n^2} \right) \left\{ \frac{1}{(n-1)^2} + \frac{2k}{(n-1)(1+k)} - \frac{1-k}{1+k} \right\} \quad (\text{A 2.9})
\end{aligned}$$

したがって (A 2.1) , (A 2.9) から

$$\Delta'_2 = -\frac{(1+k)^2}{2k^2 f^2} h^2 S \quad (\text{A 2.10})$$

が求められる。これが第4章(4.12)である。

A 3 光線の三角追跡

(1) 近軸光線の追跡

図 A 3.1 に示すように球面の数を k 個とし、それらの曲率半径を r_1, r_2, \dots, r_k とする。第 ν 番目の球面に入射する光線の延長が光軸と交わる点とその球面との距離を s_ν 、同じく第 ν 番目の球面から出て行く光線の延長が光軸と交わる点とその球面との距離を s'_ν とする。また第 ν 番目の球面と第 $\nu + 1$ 番目の球面との間の距離を d_ν とし、第 ν 番目の球面の前方の空間の屈折率を n_ν 、後方の空間の屈折率を $n_{\nu+1}$ とする。このとき、

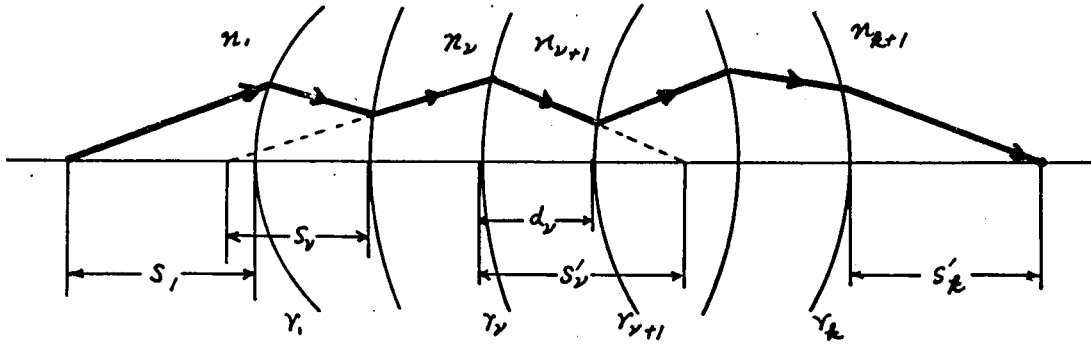


図 A 3.1 近軸光線の追跡説明図

$$\frac{1}{s'_\nu} = \frac{n_\nu}{n_{\nu+1}s_\nu} + \frac{1}{r_\nu} \frac{n_{\nu+1} - n_\nu}{n_{\nu+1}} \quad (\text{A 3.1})$$

$$s_{\nu+1} = s'_\nu - d_\nu \quad (\text{A 3.2})$$

であるから（証明略），最初に物点距離 s_1 を与え， r_1, n_1, n_2 の数値を（A 3.1）に入れて s'_1 を求め， d_1 の数値を（A 3.2）に入れて s_2 を求め，以下同様の手続きを繰返して行けば最後に像点距離 s'_k が求まる。 $s_1 = \infty$ のときには s'_k は焦点の位置を与え，後側焦点距離 f' は

$$f' = s'_1 \frac{s'_2 s'_3 \cdots s'_k}{s_2 s_3 \cdots s_k} \quad (\text{A 3.3})$$

と求まる（証明略）。

後側主点の位置は最後の球面から $f' - s'_k$ だけ前方にある。

一方前側焦点距離 f は

$$f = \frac{n_1}{n_{k+1}} f' \quad (\text{A 3.4})$$

で与えられるが，普通の光学系は $n_1 = n_{k+1} = 1$ の場合が多いから，この場合は $f = f'$ である。

(2) 一般光線の追跡

図 A 3.2 に示すように，第 ν 番目の球面の前方空間の屈折率を n_ν ，後方空間の屈折率を $n_{\nu+1}$ とする。この球面に入射する光線が光軸に対する角度を u_ν ，球面の法線に対する角度を i_ν とし，屈折して射出する光線が光軸に対する角度を u'_ν ，球面の法線に対する角度を i'_ν とする。また入射光線が光軸と

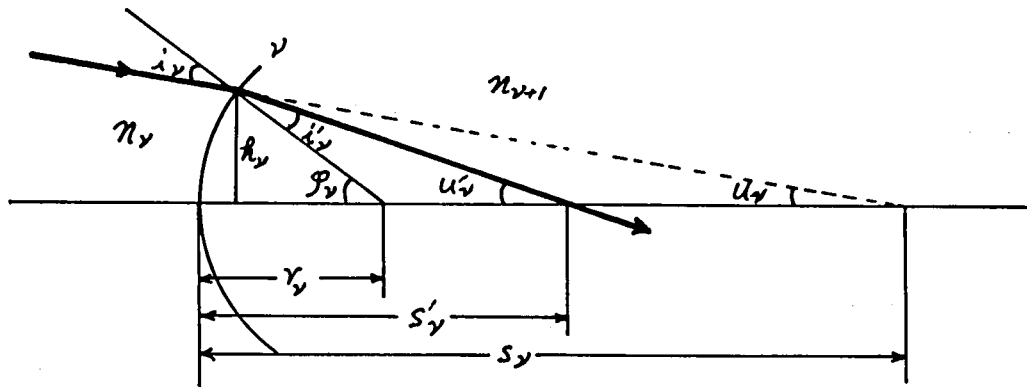


図 A 3.2 一般光線の追跡説明図

交わる点と球面との距離を s_v ，射出光線が光軸と交わる点と球面との距離を s'_v ，球面の曲率半径を r_v とし，光線の球面に対する入射高を h_v とする。このとき，

$$\frac{\sin i_v}{\sin u_v} = \frac{s_v - r_v}{r_v} \quad (\text{A 3.5})$$

屈折の法則から

$$n_{v+1} \sin i'_v = n_v \sin i_v \quad (\text{A 3.6})$$

また再び図から

$$u'_v = i_v - i'_v + u_v \quad (\text{A 3.7})$$

$$\frac{\sin i'_v}{\sin u'_v} = \frac{s'_v - r_v}{r_v} \quad (\text{A 3.8})$$

これらの式から s'_v および u'_v が計算される。つぎに第 $v+1$ 番目の球面に対しては，

$$u_{v+1} = u'_v \quad (\text{A 3.9})$$

および第 v 番目の球面との間の距離を d_v として

$$s_{v+1} = s'_v - d_v \quad (\text{A 3.10})$$

とにおいて，(A 3.5) ~ (A 3.8) の添字を一つ進めて用いればよい。なお入射高 h_v は

$$h_v = r_v \sin(u_v + i_v)^{(*)} \quad (\text{A 3.11})$$

である。

(*) 文献(52)および(53)ではともに $(u_v - i_v)$ となっているが，これは誤りである。

(a) 球面収差

物点距離無限遠すなわち $s_1 = -\infty$ のときは

$$\sin i_1 = \frac{h_1}{r_1} \quad (\text{A 3.12})$$

とし、物点距離有限すなわち $s_1 > -\infty$ のときは

$$\sin u_1 = \frac{h_1}{\sqrt{s_1^2 + h_1^2}} \quad (\text{A 3.13})$$

とおいてから (A 3.5) ~ (A 3.8) を繰返し適用する。そして s'_k を求めると、この値と、さきに近軸光線の追跡によって求めた像点距離 $\overline{s'_k}$ (これを $\overline{s'_k}$ とする) との差 $\Delta = s'_k - \overline{s'_k}$ が球面収差である。

(b) 歪曲収差

図 A 3.3 に示すように第 1 番面の球面から s_1 なる距離にある物体 PQ の理想像を $\overline{P'_k Q'_k}$ とする。理想像の最終球面からの距離を $\overline{s'_k}$ とし、理想像の投影倍率 $\overline{P'_k Q'_k} / PQ$ を β とする。理想像の大きさ y' は

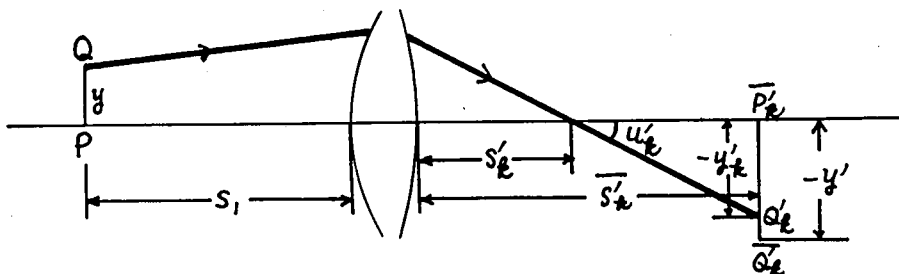


図 A 3.3 歪曲収差の追跡説明図

$$y' = \beta y \quad (\text{A 3.14})$$

Q から発した任意の光線が理想像面と実際に交わる点を Q'_k とすると $y'_k = \overline{P'_k Q'_k}$ は

$$y'_k = (s'_k - \overline{s'_k}) \tan u'_k \quad (\text{A 3.15})$$

歪曲収差 $\Delta y'$ は

$$\Delta y' = y'_k - y' = (s'_k - \overline{s'_k}) \tan u'_k - \beta y \quad (\text{A 3.16})$$

とくに $s_1 = -\infty$ のときは入射光線の傾角を ω_1 として

$$y' = -f' \tan \omega_1 \quad (\text{A 3.17})$$

であるから

$$\Delta y' = y'_k - y' = (s'_k - \overline{s'_k}) \tan u'_k + f' \tan \omega_1 \quad (\text{A 3.18})$$

(3) 非点収差の追跡

図 A 3.4 に示すように、第 ν 番目の球面に A 点において入射する光線が球面で屈折して作る子午的像を P'_m とする。また入射光線の延長と光軸との交わりを P とし、入射する光線が球面の法線に対してなす角を i_ν 、屈折後の光線が球面の法線に対して成す角を i'_ν とし、またそれぞれが光軸に対してなす角を u_ν 、 u'_ν とする。また $AP = t_\nu$ 、 AP'_m を t'_ν とし、球面の曲率半径を r_ν 、球面前方空間の屈折率を n_ν 、後方空間の屈折率を $n_{\nu+1}$ とする。このとき

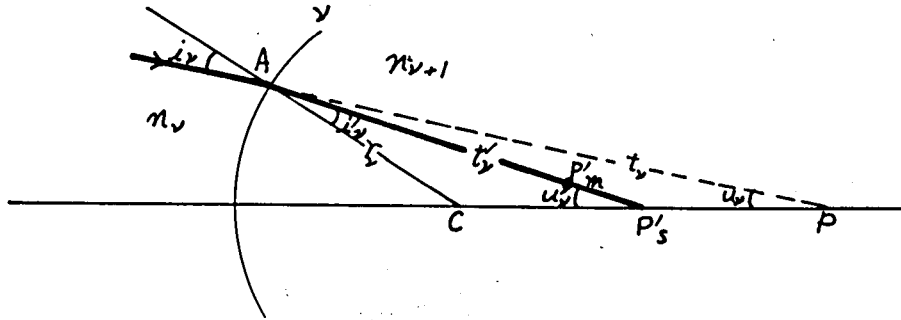


図 A 3.4 非点収差の追跡説明図 (子午的像)

$$\frac{n_{\nu+1} \cos^2 i'_\nu}{t'_\nu} - \frac{n_\nu \cos^2 i_\nu}{t_\nu} = \frac{1}{r_\nu} (n_{\nu+1} \cos i'_\nu - n_\nu \cos i_\nu) \quad (\text{A 3.19})$$

となる (証明略)。さらに図 A 3.5 からわかるように、第 ν 番目から第 $\nu + 1$ 番目の球面に移る際には

$$\left. \begin{aligned} u_{\nu+1} &= u'_\nu \\ t_{\nu+1} &= t'_\nu - \frac{h_\nu - h_{\nu+1}}{\sin u_{\nu+1}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A 3.20})$$

として、添字を進めればよい。これら 2 つの式 (A 3.19) と (A 3.20) をくり返し使って $\nu = 1$ から $\nu = k$ まで t'_ν を追跡して行って最後に t'_k を求める。

つぎに球欠的像の追跡については図 A 3.6 に示す。球欠的像を P'_s とし、 $AP = S_\nu$ 、 $AP'_s = S'_\nu$ とし、その他の記号を子午的像の場合と同様とすると、

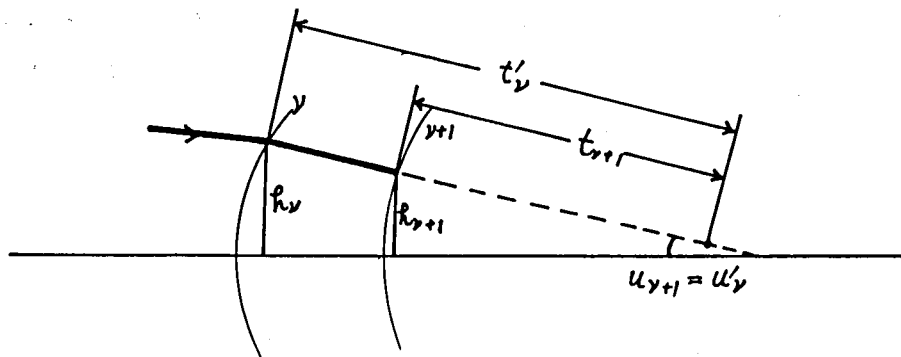


図 A 3.5 球面から球面へ移るときの変数の変換

$$\frac{n_{\nu+1}}{S'_{\nu}} - \frac{n_{\nu}}{S_{\nu}} = \frac{n_{\nu+1}}{r_{\nu}} \frac{\sin(i_{\nu} - i'_{\nu})}{\sin i_{\nu}} \quad (\text{A 3.21})$$

となる (証明略)。さらに (A 3.20) と同様に

$$\left. \begin{aligned} u_{\nu+1} &= u'_{\nu} \\ S_{\nu+1} &= S'_{\nu} - \frac{h_{\nu} - h_{\nu+1}}{\sin u_{\nu+1}} \end{aligned} \right\} \quad (\text{A 3.22})$$

となるから, (A 3.21), (A 3.22) をくり返し用いて S'_k を求める。

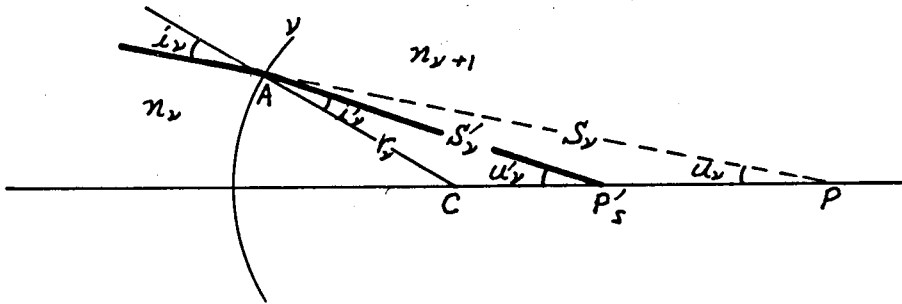


図 A 3.6 非点収差の追跡説明図 (球欠的像)

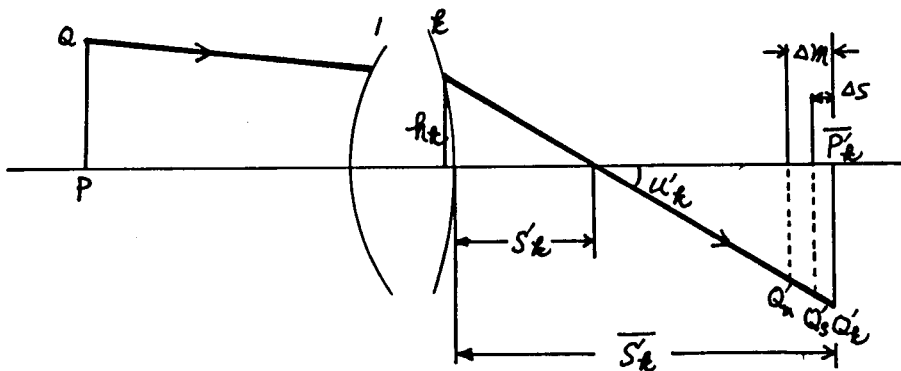


図 A 3.7 非点収差の計算説明図

この際, これと同時に (A 3.5) ~ (A 3.11) によって h_{ν} , u'_{ν} , s'_k などを求めて h_{ν} , u'_{ν} などは (A 3.20), (A 3.22) に用い, また (A 3.1), (A 3.2) によって $\overline{s'_k}$ を求めておく。これらの計算の結果から, 物体 PQ の理想像を $\overline{P'_k Q'_k}$ とし, Q 点の子午的像を Q_m , 球欠的像を Q_s とすると, 図 A 3.7 から非点収差 Δm , Δs はそれぞれ

$$\Delta m = \left(\overline{s'_k} - s'_k + \frac{h_k}{\tan u'_k} \right) - t'_k \cos u'_k \quad (\text{A 3.23})$$

$$\Delta s = \left(\overline{s'_k} - s'_k + \frac{h_k}{\tan u'_k} \right) - S'_k \cos u'_k \quad (\text{A 3.24})$$

と求められる。

A 4 Harting の表

表 A 4.1 に Harting の表を示す。これは $f = 1$ のレンズについて、無限遠の物体に対して球面収差の補正がよくできるように r_1, r_2, r_3, n_1, n_2 をきめたものである。任意の焦点距離、たとえば $f = 50$ のレンズを得たいならば、これらのうち r_1, r_2, r_3 をそれぞれ 50 倍すればよい。また第 4 の表は、 dn すなわち二つの波長の光に対する屈折率の差がちょうどこの表の値になるとき、色消しがつともよいという条件を与えるものである。

dn フリント
 dn クラウン

$n_1 \backslash n_2$	1.50	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66
1.50		1.42	1.55	1.67	1.78	1.87	1.96	2.04	2.11	2.19	2.26	2.32	2.39	2.46	2.52	2.59	2.65
1.51	1.41		1.41	1.55	1.67	1.77	1.86	1.94	2.02	2.10	2.17	2.24	2.31	2.37	2.44	2.50	2.56
1.52	1.55	1.40		1.41	1.55	1.66	1.76	1.85	1.93	2.01	2.08	2.15	2.22	2.29	2.35	2.42	2.48
1.53	1.66	1.54	1.40		1.40	1.54	1.65	1.75	1.83	1.91	1.99	2.06	2.14	2.20	2.27	2.33	2.39
1.54	1.75	1.65	1.53	1.39		1.40	1.54	1.65	1.74	1.82	1.90	1.98	2.05	2.12	2.19	2.25	2.31
1.55	1.83	1.74	1.64	1.53	1.39		1.39	1.53	1.64	1.73	1.81	1.89	1.96	2.03	2.10	2.17	2.23
1.56	1.91	1.82	1.73	1.63	1.52	1.38		1.39	1.53	1.63	1.72	1.80	1.88	1.95	2.02	2.09	2.15
1.57	1.99	1.90	1.81	1.72	1.62	1.51	1.38		1.38	1.53	1.62	1.71	1.79	1.87	1.94	2.01	2.07
1.58	2.06	1.98	1.89	1.80	1.71	1.62	1.51	1.37		1.38	1.52	1.62	1.70	1.78	1.85	1.92	1.99
1.59	2.13	2.05	1.96	1.88	1.79	1.70	1.61	1.50	1.37		1.37	1.51	1.61	1.69	1.77	1.84	1.91
1.60	2.20	2.12	2.03	1.95	1.87	1.78	1.69	1.60	1.49	1.36		1.37	1.51	1.60	1.68	1.76	1.83
1.61	2.27	2.18	2.10	2.02	1.94	1.85	1.77	1.68	1.59	1.49	1.36		1.37	1.50	1.59	1.68	1.75
1.62	2.33	2.25	2.17	2.09	2.00	1.92	1.84	1.76	1.67	1.59	1.49	1.36		1.36	1.49	1.59	1.67
1.63	2.39	2.31	2.23	2.15	2.07	1.99	1.91	1.83	1.75	1.67	1.58	1.48	1.35		1.36	1.49	1.58
1.64	2.45	2.37	2.29	2.21	2.13	2.05	1.98	1.90	1.82	1.74	1.66	1.57	1.47	1.35		1.36	1.48
1.65	2.51	2.43	2.35	2.27	2.19	2.11	2.04	1.96	1.89	1.81	1.73	1.65	1.57	1.47	1.35		1.35
1.66	2.57	2.48	2.40	2.32	2.24	2.17	2.09	2.02	1.95	1.87	1.80	1.72	1.64	1.56	1.46	1.34	

r_1

$n_1 \backslash n_2$	1.50	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66
1.50		0.590	0.594	0.597	0.598	0.598	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599	0.599
1.51	0.503		0.596	0.600	0.602	0.603	0.604	0.605	0.605	0.606	0.606	0.606	0.606	0.606	0.606	0.606	0.606
1.52	0.486	0.509		0.601	0.605	0.608	0.609	0.610	0.611	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612	0.612
1.53	0.474	0.492	0.515		0.607	0.611	0.613	0.615	0.616	0.617	0.617	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618	0.618
1.54	0.465	0.480	0.498	0.521		0.613	0.617	0.619	0.621	0.622	0.622	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623	0.623
1.55	0.458	0.471	0.486	0.504	0.527		0.618	0.622	0.625	0.626	0.627	0.628	0.628	0.629	0.629	0.629	0.629
1.56	0.451	0.464	0.477	0.492	0.510	0.533		0.623	0.628	0.630	0.631	0.633	0.633	0.634	0.634	0.634	0.634
1.57	0.445	0.458	0.470	0.483	0.498	0.516	0.539		0.629	0.633	0.635	0.637	0.638	0.639	0.639	0.639	0.639
1.58	0.440	0.452	0.464	0.476	0.489	0.504	0.522	0.544		0.634	0.638	0.641	0.642	0.643	0.644	0.644	0.645
1.59	0.436	0.447	0.458	0.470	0.482	0.495	0.510	0.527	0.549		0.639	0.644	0.646	0.647	0.648	0.649	0.650
1.60	0.432	0.442	0.453	0.464	0.476	0.488	0.501	0.515	0.532	0.554		0.644	0.648	0.650	0.652	0.653	0.654
1.61	0.428	0.438	0.448	0.459	0.470	0.482	0.494	0.506	0.520	0.537	0.559		0.649	0.653	0.655	0.657	0.658
1.62	0.424	0.434	0.444	0.454	0.465	0.476	0.487	0.499	0.511	0.525	0.542	0.564		0.653	0.657	0.660	0.662
1.63	0.421	0.430	0.440	0.450	0.460	0.470	0.481	0.492	0.504	0.516	0.530	0.547	0.569		0.658	0.662	0.664
1.64	0.418	0.427	0.436	0.445	0.455	0.465	0.475	0.486	0.497	0.509	0.521	0.535	0.552	0.574		0.662	0.666
1.65	0.415	0.423	0.432	0.441	0.450	0.460	0.470	0.480	0.491	0.502	0.514	0.526	0.540	0.557	0.579		0.667
1.66	0.412	0.420	0.428	0.437	0.446	0.455	0.465	0.475	0.485	0.496	0.507	0.519	0.531	0.545	0.561	0.583	

1/r₃

n ₂ \ n ₁	1.50	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66
1.50		-0.413	-0.476	-0.526	-0.567	-0.602	-0.632	-0.658	-0.681	-0.702	-0.722	-0.742	-0.762	-0.781	-0.781	-0.813	-0.826
1.51	-0.119		-0.384	-0.449	-0.498	-0.537	-0.571	-0.600	-0.625	-0.647	-0.668	-0.680	-0.709	-0.728	-0.746	-0.762	-0.776
1.52	-0.103	-0.098		-0.360	-0.424	-0.472	-0.510	-0.542	-0.570	-0.594	-0.617	-0.638	-0.659	-0.678	-0.696	-0.713	-0.720
1.53	-0.095	-0.083	-0.080		-0.338	-0.400	-0.447	-0.484	-0.515	-0.542	-0.566	-0.589	-0.611	-0.630	-0.649	-0.666	-0.683
1.54	-0.090	-0.076	-0.065	-0.063		-0.317	-0.377	-0.423	-0.459	-0.489	-0.516	-0.540	-0.563	-0.583	-0.602	-0.620	-0.638
1.55	-0.086	-0.072	-0.059	-0.049	-0.047		-0.296	-0.355	-0.399	-0.434	-0.461	-0.490	-0.514	-0.537	-0.557	-0.575	-0.593
1.56	-0.083	-0.069	-0.056	-0.043	-0.033	-0.032		-0.275	-0.333	-0.376	-0.410	-0.439	-0.465	-0.489	-0.511	-0.530	-0.549
1.57	-0.081	-0.066	-0.053	-0.040	-0.027	-0.018	-0.017		-0.254	-0.311	-0.353	-0.386	-0.415	-0.440	-0.464	-0.487	-0.505
1.58	-0.083	-0.064	-0.050	-0.037	-0.024	-0.012	-0.003	-0.002		-0.234	-0.290	-0.331	-0.363	-0.391	-0.416	-0.440	-0.461
1.59	-0.086	-0.064	-0.047	-0.034	-0.021	-0.008	0.003	0.012	0.013		-0.215	-0.270	-0.310	-0.341	-0.368	-0.394	-0.417
1.60	-0.089	-0.066	-0.047	-0.031	-0.018	-0.005	0.007	0.018	0.027	0.028		-0.196	-0.250	-0.290	-0.320	-0.347	-0.372
1.61	-0.090	-0.066	-0.047	-0.031	-0.016	-0.003	0.010	0.022	0.033	0.042	0.043		-0.178	-0.231	-0.271	-0.300	-0.327
1.62	-0.091	-0.067	-0.047	-0.030	-0.015	-0.001	0.012	0.025	0.038	0.048	0.056	0.058		-0.161	-0.213	-0.252	-0.281
1.63	-0.092	-0.067	-0.047	-0.030	-0.015	-0.001	0.013	0.026	0.039	0.053	0.063	0.070	0.072		-0.144	-0.196	-0.234
1.64	-0.093	-0.068	-0.047	-0.030	-0.015	-0.001	0.013	0.027	0.040	0.053	0.066	0.077	0.083	0.085		-0.127	-0.180
1.65	-0.094	-0.068	-0.047	-0.030	-0.015	-0.001	0.013	0.027	0.040	0.053	0.066	0.079	0.090	0.096	0.097		-0.111
1.66	-0.094	-0.068	-0.047	-0.030	-0.015	-0.001	0.013	0.027	0.040	0.053	0.066	0.079	0.092	0.102	0.107	0.108	

r₂

n ₂ \ n ₁	1.50	1.51	1.52	1.53	1.54	1.55	1.56	1.57	1.58	1.59	1.60	1.61	1.62	1.63	1.64	1.65	1.66
1.50		-0.180	-0.226	-0.260	-0.287	-0.310	-0.328	-0.343	-0.356	-0.368	-0.379	-0.389	-0.397	-0.405	-0.412	-0.419	-0.426
1.51	0.139		-0.182	-0.230	-0.264	-0.291	-0.314	-0.332	-0.347	-0.361	-0.374	-0.385	-0.395	-0.408	-0.411	-0.419	-0.426
1.52	0.165	0.140		-0.184	-0.233	-0.268	-0.296	-0.318	-0.336	-0.352	-0.367	-0.380	-0.392	-0.401	-0.410	-0.418	-0.426
1.53	0.182	0.167	0.141		-0.186	-0.236	-0.272	-0.290	-0.322	-0.341	-0.357	-0.372	-0.386	-0.397	-0.407	-0.416	-0.425
1.54	0.193	0.183	0.168	0.142		-0.188	-0.239	-0.276	-0.303	-0.326	-0.345	-0.362	-0.377	-0.391	-0.404	-0.414	-0.423
1.55	0.202	0.195	0.185	0.170	0.144		-0.190	-0.242	-0.280	-0.307	-0.330	-0.349	-0.366	-0.382	-0.398	-0.410	-0.420
1.56	0.209	0.204	0.197	0.187	0.171	0.145		-0.192	-0.245	-0.284	-0.311	-0.333	-0.353	-0.371	-0.388	-0.403	-0.415
1.57	0.216	0.211	0.206	0.199	0.188	0.172	0.146		-0.194	-0.248	-0.288	-0.314	-0.337	-0.358	-0.375	-0.393	-0.408
1.58	0.221	0.218	0.214	0.208	0.200	0.189	0.174	0.147		-0.196	-0.251	-0.291	-0.318	-0.341	-0.362	-0.381	-0.398
1.59	0.225	0.223	0.220	0.215	0.209	0.201	0.191	0.175	0.148		-0.198	-0.254	-0.294	-0.322	-0.346	-0.367	-0.386
1.60	0.229	0.227	0.225	0.222	0.217	0.211	0.203	0.192	0.176	0.140		-0.200	-0.256	-0.297	-0.327	-0.351	-0.372
1.61	0.233	0.232	0.229	0.227	0.224	0.219	0.213	0.205	0.193	0.177	0.150		-0.202	-0.259	-0.300	-0.329	-0.355
1.62	0.236	0.235	0.234	0.231	0.229	0.226	0.221	0.214	0.206	0.195	0.178	0.151		-0.204	-0.251	-0.302	-0.333
1.63	0.239	0.238	0.237	0.236	0.233	0.231	0.227	0.222	0.216	0.207	0.196	0.179	0.153		-0.206	-0.264	-0.304
1.64	0.241	0.240	0.240	0.239	0.237	0.235	0.232	0.229	0.224	0.217	0.209	0.197	0.180	0.153		-0.207	-0.267
1.65	0.243	0.242	0.242	0.242	0.241	0.239	0.237	0.234	0.230	0.225	0.210	0.219	0.198	0.181	0.153		-0.209
1.66	0.245	0.245	0.244	0.244	0.243	0.242	0.241	0.239	0.236	0.232	0.227	0.220	0.211	0.199	0.182	0.154	

A 5 インターレースを行なわせるための簡易な方法

A 5.1 従来試みられた二、三の方法

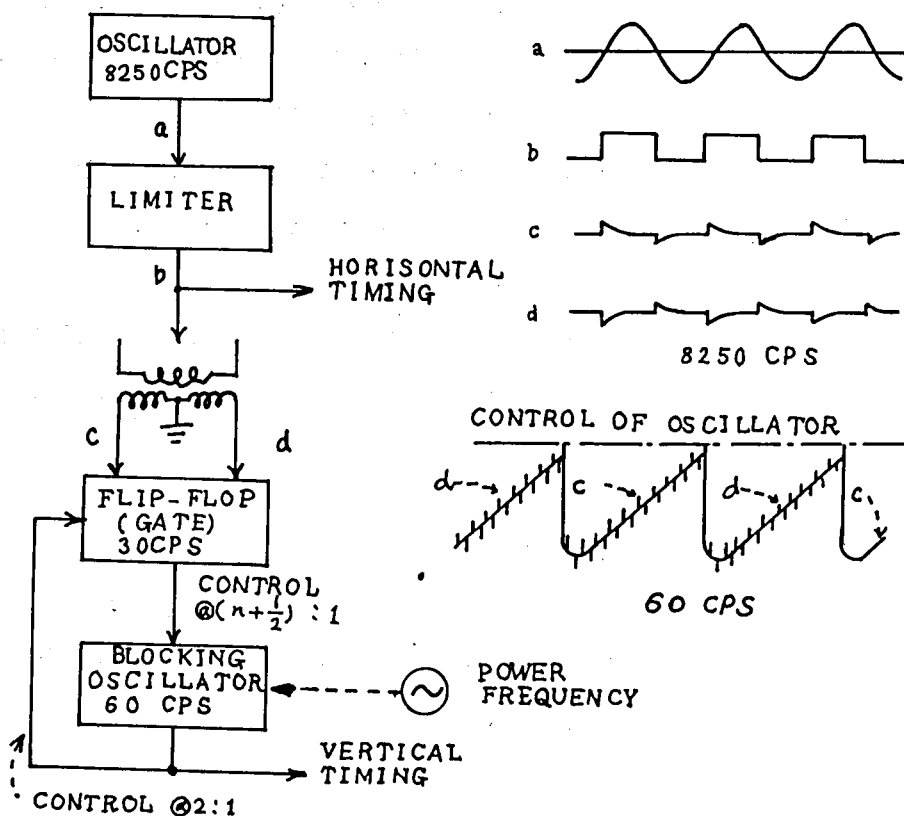
簡易インターレース方式として考えられたものはセミランダム・インターレース方式とよばれるもので、^{A1) A2)} 主にテレビ電話システムのために考案されたものである。この考え方はつぎのようなものである。

- (a) 水平偏向周波数の2倍の周波数から通降して水平偏向周波数，垂直偏向周波数を作ることをやめて，水平偏向発振，垂直偏向発振はそれぞれ独立に発振させる。
- (b) ただし水平偏向と垂直偏向のそれぞれ開始の位相関係をフィールドごとに $\frac{H}{2}$ だけずらせるようにし，後のフィールドにおける走査線が前のフィールドにおける走査線の間に入るようにする。
- (c) このようにすると走査線数は必ずしも一定しないが少なくとも2:1のインターレースの関係だけは保たれる。水平，垂直両偏向発振の安定度を良好に保っておけば，後に述べるように水平発振出力で垂直発振に同期をかけるなどの方法をとることにより，かなりの程度まで安定に走査線も一定に保つことができる。

つぎにこれまでに試みられたセミランダム・インターレース方式の具体的構成について述べる。

A 5.1.1 Picturephone の方法

図A 5.1はBell Telephone Laboratories で開発されたテレビ電話システムPicturephoneの同期信号発生法を示す系統図と各部波形図である。^{A1)} 原著にあるこの図は大変わかりにくいので，これを書き直すと図A 5.2のようになる。原発振器は2個あり，うち1個は8.25 kHzの正弦波発振



図A 5.1 Picturephone の同期方式。系統図と波形図

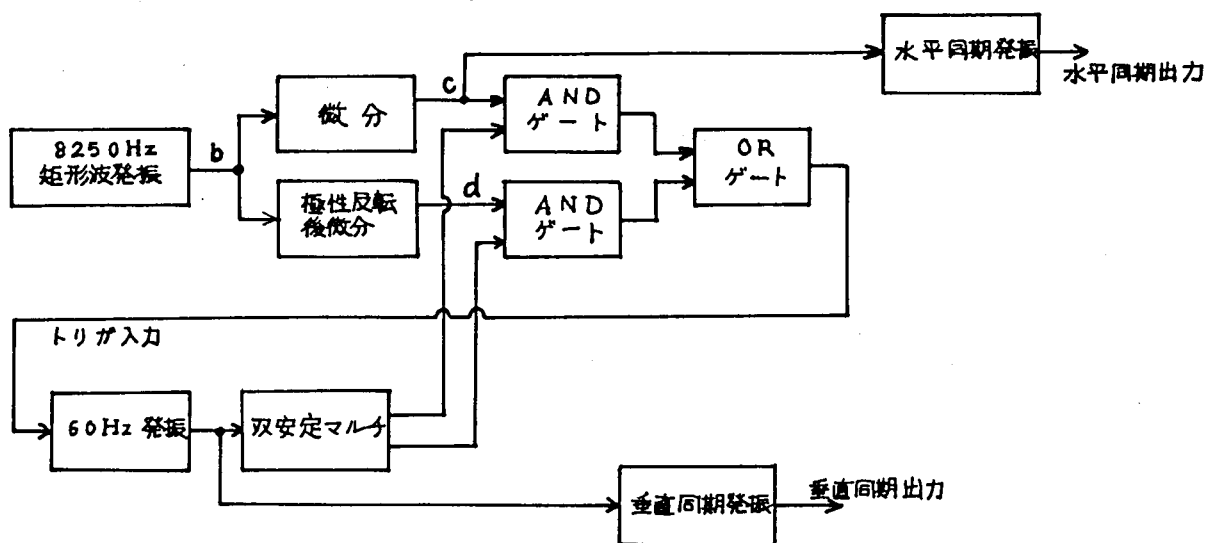


図 A 5.2 Picturephone の同期方式。図 A 5.1 を書きなおしたもの。図中の符号の個所の波形は図 A 5.1 に対応。

器で、これと振幅制限器との組み合わせにより 8.25 kHz の矩形波を発生する。他の 1 個は約 60 Hz で自走するブロッキング発振器である。8.25 kHz の矩形波を微分してそれぞれ極性が反対の二つの微分波系列を作る。図 A 5.1 ではこれを中点タップ付きの微分変成器で実現している。一方 60 Hz の発振器の出力で双安定マルチバイブレータを動かし、30 Hz の矩形波を作る。双安定マルチバイブレータからはそれぞれ極性反対の二つの 30 Hz の矩形波系列が得られるから、これら二つの矩形波でそれぞれ上に述べた二つの微分波系列をゲートしてぬき出す。すなわち最初の 1/60 秒の間は 8.25 kHz の微分波系列の一方が、つぎの 1/60 秒の間にはこれと極性反対の微分波系列がとり出されることになる。このようにして得られたゲート出力を OR ゲートに通して加算して取り出し、この出力で最初の 60 Hz の発振器に同期をかける。この 60 Hz の原発振器から垂直偏向同期信号を作り、一方 8.25 kHz の矩形波から水平偏向同期信号を作ると、フィールドごとに水平、垂直両同期信号の間の位相関係が $\frac{H}{2}$ ずつずれて行き、2 : 1 のインターレースが実現される。

なお Picturephone の場合、水平偏向周波数は 8250 Hz であり、垂直偏向周波数すなわち毎秒フィールド数は 60 Hz、2 : 1 のインターレースが実施されて毎秒フレーム数は 30 であるから、走査線数は $8250 \div 30 = 275$ 本である。

A 5.1.2 Lunn と Mumford の方法

British Telecommunications Research Ltd. の Lunn と Mumford は二つの方法を提案している。^{A3)} その一つは図 A 5.3(a) に示す方法である。まずフィールド周波数 (50 Hz)^(*) で発振するパルス発生器を用意する。これで垂直偏向発振器を駆動するとともに、繰返しがフレーム周波数 (25 Hz) のパルス発生器を駆動する。前者の 50 Hz のパルスはその幅がちょうど水平偏向周期の整数倍 (nH) すなわち走査線 n 本分になるようにしておく。また後者の 25 Hz のパルスは、パルス幅を (n+

(*) ヨーロッパでは電源の関係で垂直偏向周波数 (フィールド周波数) 50 Hz、毎秒フレーム数 25 が普通である。

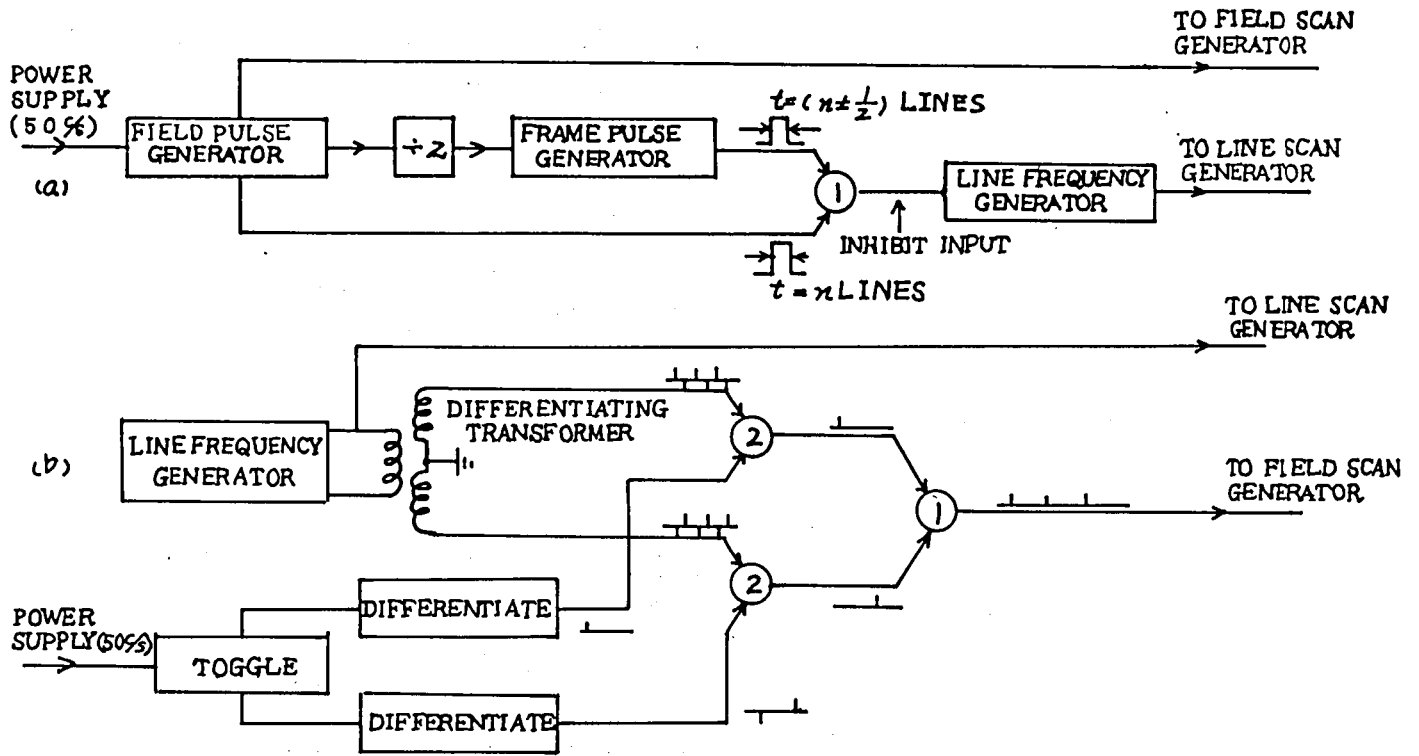


図 A 5.3 Lunn と Mumford の方法

$\frac{1}{2}$) H すなわち走査線 $(n + \frac{1}{2})$ 本分に設定する。これらの二つのパルスを OR ゲートに通すと $\frac{1}{50}$ sec ごとに幅 nH のパルスと $(n + \frac{1}{2}) H$ のパルスとが交互に現われるようなパルス列が得られる。これを水平偏向発振器の制御信号 (inhibit input) とし、その期間だけ水平偏向を止めるようにする。同時にこれを垂直の帰線消去信号として使う。このように構成すると、垂直偏向は一定の周期で行なわれるにもかかわらず水平偏向の始まりの位相がフィールドごとに $\frac{H}{2}$ だけ遅れたり戻ったりする。したがって 2 : 1 のインターレースが行なわれる。

この方法の一つの問題点はパルス幅を nH または $(n + \frac{1}{2}) H$ に保つ必要のあることで、この安定性が悪いとよいインターレースが行なわれなくなる。

Lunn と Mumford のもう一つの方法は図 A 5.3 (b) に示す方法である。水平偏向発振器 (line frequency generator) は水平偏向周波数の矩形波を発生する。この出力で水平偏向発振器を駆動する一方、二次側に中点タップを有する微分変成器にこの矩形波を通す。微分変成器の二次側からはこの矩形波を微分した波形が得られ、しかも両端から得られる微分波電圧はそれぞれ極性が反対、すなわち一方の位相が他方の位相に対して $\frac{H}{2}$ だけ遅れたものである。一方、50 Hz の電源電圧は双安定マルチバイブレータ (toggle) を動かし、それぞれ極性反対の二系列の 25 Hz の矩形波を作る。これら 25 Hz の矩形波をそれぞれ微分する。この際微分された波形の幅を十分広くとる。そして図のようにこの 25 Hz の微分波の正成分で前記の水平偏向周波数の微分波の正成分をゲートして、 $1/25$ 秒に一度の割合で後者から 1 個のパルスをぬき出す。こうして得られた 2 つの系列の 25 Hz のパルスを OR ゲートに通すと、出力として平均繰り返し 50 Hz のパルスが得られ、しかもこの 50 Hz のパルス列のパルス間隔は $(n \pm \frac{1}{2}) H$ となるから、これで垂直偏向発振器を駆動すれば所期の 2 : 1 のイ

ンターレースが得られることになる。

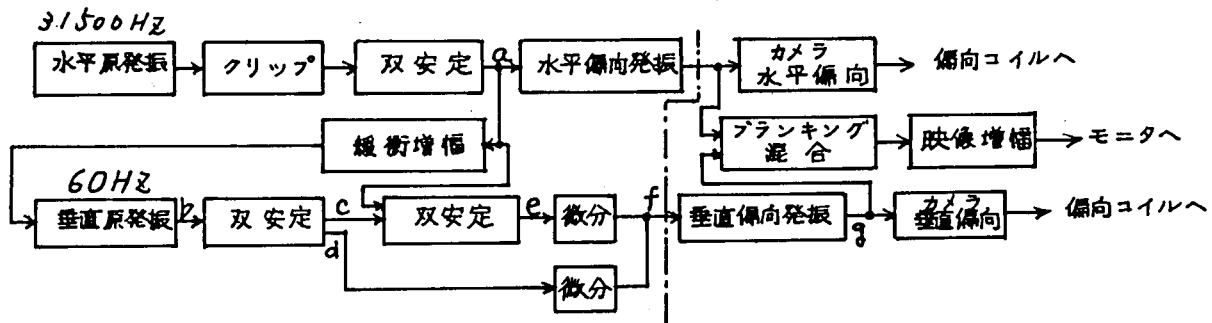
この方法によれば走査線数は±1本ぐらいの範囲で始終変動する。また垂直，水平両偏向の間に一定の位相関係がなく，走査線は画面上の定位置に固定しないので不快感がある。

A 5.2 筆者の構成 (1)

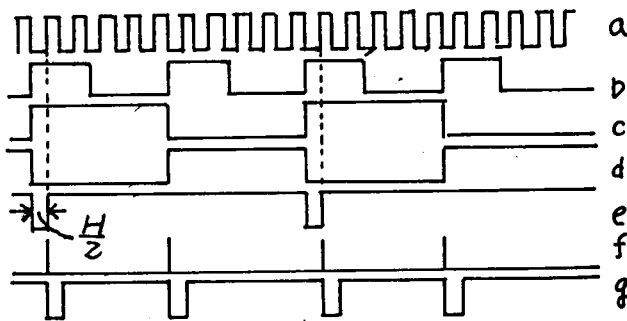
セミランダム・インターレースの考えに従って具体的回路構成を考えた。^{A4) A5)}

A 5.2.1 構成と動作原理

系統図を図A 5.4に，各部電圧波形を図A 5.5に示す。



図A 5.4 筆者の構成(1)の系統図



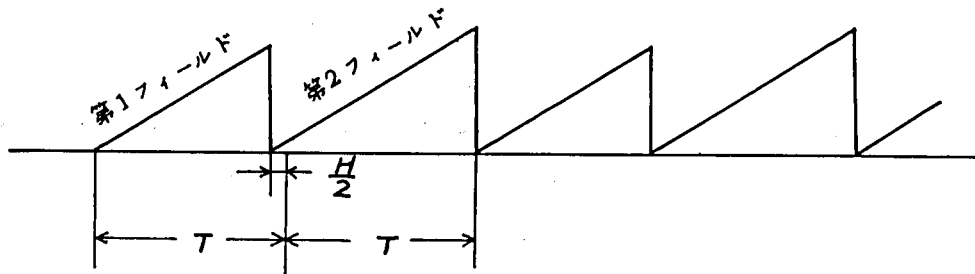
図A 5.5 各部波形。符号は図A 5.4に対応

水平原発振器は水平偏向周波数の2倍，標準TV方式の場合には31.5 kHzの正弦波発振器である。これは必ずしも正弦波発振器でなくてもよい。これは本質的な問題ではない。この正弦波を適当なレベルでクリップして増幅し，微分する。そしてこの微分波で双安定マルチバイブレータをトリガすると出力として図A 5.5(a)に示すような15.75 kHzの矩形波が得られる。この矩形波のデューティ・サイクルはほぼ正しく50%である。

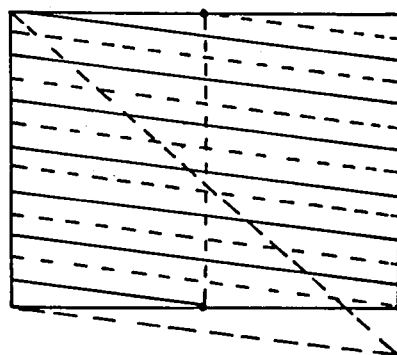
垂直原発振器としては約60 Hzで自走する非安定マルチバイブレータまたはブロッキング発振器などを使用する。上記の15.75 kHzの矩形波を微分し，微分パルスの中の負成分，すなわち矩形波の後縁に対応するパルスで垂直原発振に同期をかけ，図A 5.5(b)に示すように60 Hz発振立上りの位

相が15.75 kHz 矩形波の後縁の位相に一致するようにする。つきに(b)を微分し、その立上りに対応する正のパルスで双安定マルチバイブレータをトリガし、(c)と(d)の波を作る。(c)を微分し、その立上りに対応する正のパルスで第二の双安定マルチバイブレータをセットする。さらに前記15.75 kHz 矩形波の立上りに対応する正のパルスでこの第二の双安定マルチバイブレータをリセットする。そうすると第二の双安定マルチバイブレータの出力は図A 5.5(e)のように(c)の立上りとともに立下り、つづく(a)の立上りとともに立上る。その幅は(a)の周期の $\frac{1}{2}$ すなわち $\frac{H}{2}$ である。すなわち(e)のパルスの後縁は垂直原発振(b)の立上りに対して $\frac{H}{2}$ だけ遅延している。そこで(e)を微分して微分波の正成分すなわち(e)の後縁に対応するパルスを取り出し、一方第一の双安定マルチバイブレータのもう一方の出力(d)を微分して微分波の正成分を取り出し、これらを加算すると、前者は垂直原発振(b)の立上りに対して $\frac{H}{2}$ 遅延し、後者は(b)の立上りに一致しているから、図A 5.5(f)のように平均の繰返し60 Hzで、かつ一つおきに位相が $\frac{H}{2}$ 遅れたり戻ったりするパルス列が得られる。このパルス列によって垂直偏向発振器をトリガし、図A 5.5(g)のような垂直偏向駆動パルスを得る。なお水平偏向駆動パルスは15.75 kHz の矩形波(a)から発生させる。

このようにして作られた垂直、水平の偏向駆動パルスでそれぞれ鋸歯状波を発生させて垂直、水平の両偏向を行なわせる。図A 5.6はこの場合に発生する垂直偏向波形を示す。(実際にはこのようにうまく偏向の始端が同じレベルにそろわない。これについては後に考察する。)図は理想化して帰線期間0としてある。この場合のラスタのパターンは図A 5.7のようになり、2:1のインターレースが行なわれる。



図A 5.6 垂直偏向波形 (簡単のため帰線時間を0としてある)



図A 5.7 ラスタのパターン

実線：第1フィールド

破線：第2フィールド

(帰線時間を0としてある)

以上の操作を撮像側で行ない、受像側には上記偏向駆動パルスから作った同期信号を送り込む。簡単のためランダム・インターレースの方法と同様に偏向駆動パルスを混合して帰線消去信号を作り、これを同期信号として兼用させる。垂直同期信号の切れ込み、等化パルスは挿入しない。

A 5.2.2 実験

(1) 実験装置

実験は白黒の I T V システムで行なった。実験用カメラとして日立製 T I E - 5 V A 型 I T V カメラを用いた。このカメラはもともとランダム・インターレース方式をとっており、それぞれ独立に発振する水平偏向発振器と垂直偏向発振器を備えている。水平偏向原発振器は正弦波発振器で、この出力が次段でクリップされて水平偏向駆動パルスが作られる。一方、垂直偏向発振器はブロッキング発振器で、この出力が垂直偏向駆動パルスになる。水平、垂直の偏向駆動パルスは偏向出力回路に加えられる一方、ブロッキング混合器に入る。ここで両偏向駆動パルスが混合されて帰線消去信号が作られ、これはビジコンの第 1 格子電極 — 陰極間に加えられて帰線消去を達成するとともに、映像増幅器内で映像信号に混合されて、同期信号となる。

実験のためにこのような構成のカメラの水平偏向発振器を殺した。そして図 A 5.4 の鎖線から左の部分を図 A 5.8 のような回路に構成し、これから水平偏向駆動パルスを直接上記カメラの偏向出力回路に供給した。同時に図 A 5.8 の回路から垂直偏向発振に対するトリガパルスをカメラのブロッキング発振器に供給して、その発振の位相を制御するようにした。

受像機としては 17 型のビルディングモニタ（日立 T M - 903 型）を用いた。

(2) 実験結果

図 A 5.9 は以上のような回路構成でインターレース走査を行なわせた場合の画面の写真である。図 A 5.10 はランダム・インターレース走査の場合の画面写真で、これらを比較すると上記のような簡易インターレース走査でも走査線構造は細かく、垂直解像度は上昇することが明らかにわかる。ただし、これは画面中央部の写真であって、画面上下部分ではインターレースが悪く、ベアリング傾向が見られた。この原因については A 5.2.3 で考察する。

A 5.2.3 考察

A 5.2.2 で述べたように図 A 5.11 のような走査のパターンを得るためには垂直偏向の波形は図 A 5.12 のようであればならない。すなわち垂直偏向の始端は各フィールドで常に一致し、偏向の終端がフィールドごとに H だけずれなければならないことになる。偏向の平均の周期を T とし、偏向の始端を 0 とすれば図 A 5.12 からわかるように第 1 フィールドにおける終端の位置は $k \left(T - \frac{H}{2} \right)$ 、第 2 フィールドにおける終端は $k \left(T + \frac{H}{2} \right)$ で表わされる。ただし k は定数である。またこの波の平均値は

$$\frac{\int_0^{T-\frac{H}{2}} k t dt + \int_0^{T+\frac{H}{2}} k t dt}{2T} = \frac{k}{2} \left(T + \frac{H^2}{4T} \right) \quad (\text{A 5.1})$$

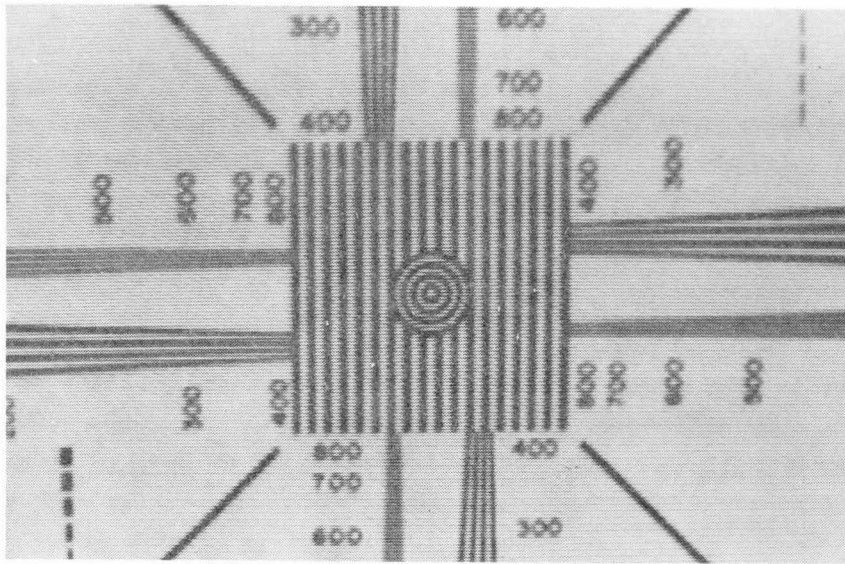


図 A 5.9 映像写真 (簡易インターレース)

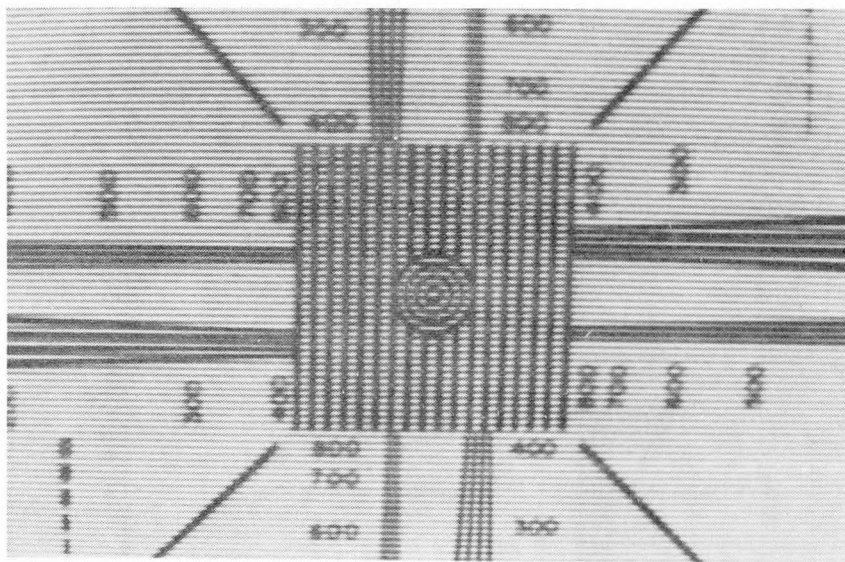


図 A 5.10 映像写真 (ランダム・インターレース)

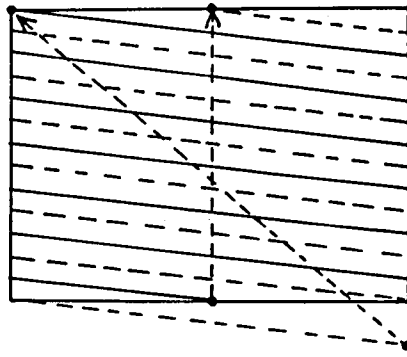


図 A 5.11 ラスタのパターン

実線：第1フィールド
破線：第2フィールド
(帰線時間を0としてある)

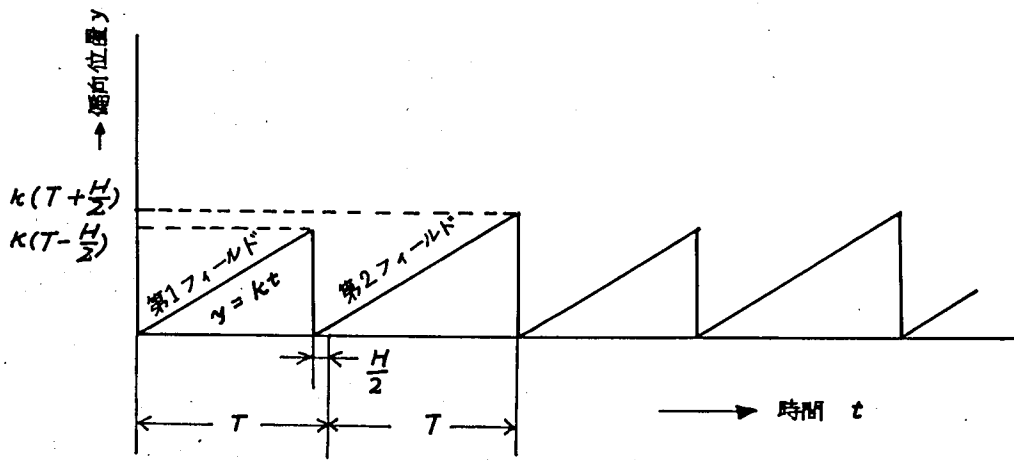


図 A 5.12 垂直偏向波形 (簡単のため帰線時間を0としてある)

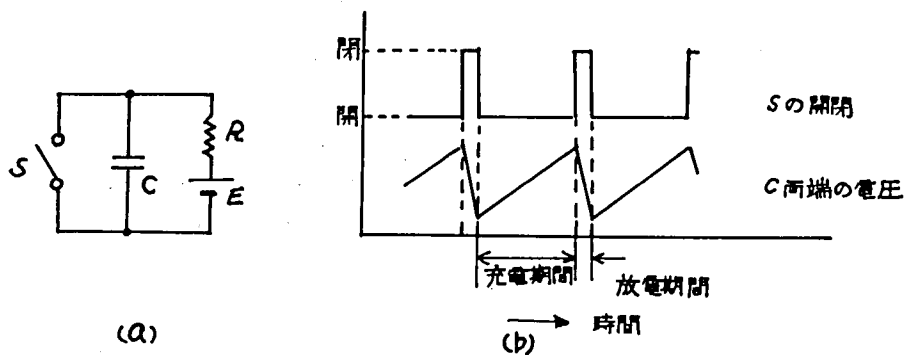


図 A 5.13 鋸歯状波の発生 (a)基本回路 (b)スイッチの開閉と電圧の変化

となる。

周知のように、垂直偏向電圧は原理的にいって図 A 5.13 (a) のような鋸歯状波発生回路で作られる。すなわち充電期間中にコンデンサ C が充電され、放電期間中にはたくわえられた電荷が放電する。このコンデンサ C 両端の電圧が偏向波形となり、放電期間は帰線期間となる。もしスイッチ S の抵抗が

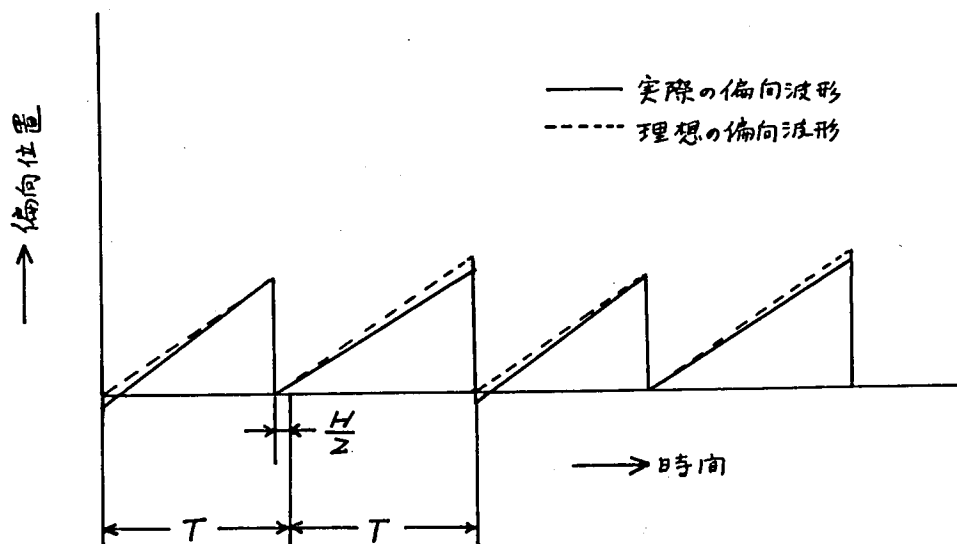
ある程度高くして放電期間内にCにたくわえられた電荷が完全に放電されない場合にはCの中にエネルギーが残留するが、充放電の周期が一定の場合には、定常状態においては図A 5.13 (b)のように鋸歯状波の始端、終端が一定する。ところがこの考案の場合には1フィールドごとに周期が変化するのであるから、第1フィールドにおいてたくわえられるエネルギーと第2フィールドにおいてたくわえられるエネルギーとが異なり、もし帰線期間内にこれらのエネルギーが完全に放出されてしまいか、あるいは充電の量が大きければそれに対応して放電の時間的割合も大きくなりかぎり、鋸歯状波の始端が各フィールドでそろわなくなる。この場合1フィールドにたくわえられる電荷の平均値は図A 5.12を参照して

$$\frac{\int_0^{T-\frac{H}{2}} k't dt + \int_0^{T+\frac{H}{2}} k't dt}{2} = \frac{k'T^2}{2} + \frac{k'H^2}{8} \quad (\text{A 5.2})$$

ただし $k' = \text{定数}$

これに対して通常のごとく周期が一定値 T の場合に1フィールドにたくわえられる電荷は明らかに $\frac{k'T^2}{2}$ である。したがって充電および放電の時間的割合がそれぞれ一定であるとするならば、筆者の構成の場合には1フィールドあたりにして $\frac{k'H^2}{8}$ だけの余分な電荷が累積することになり、その結果、偏向波形の始端、終端はどんどん持ち上っていきってしまうことになる。

実際の偏向波形はもちろんこうはならない。この場合考えられる可能性は、第一に充電系の飽和特性のために、第1フィールドにおけるよりも第2フィールドにおける方が、平均的に充電の時間的割合が小さくなるであろうということ、すなわち偏向波形の勾配は第1フィールドより第2フィールドの方が小さいであろうということ、第二には、充放電系に続く増幅系の飽和特性のために、やはり偏向波形の勾配が第2フィールドで小さくなる傾向を持つだろうということである。このように考えて、偏向波形のパターンを描いてみると図A 5.14 のようになり、さらにこの場合のラスタのパターンを描くと図A 5.15 のようになって、画面上下部でインターレースが悪く、中央部でよいという実験結果が、定性的にはあるが説明できる。



図A 5.14 実際の偏向波形 (簡単のため帰線時間を0としてある)

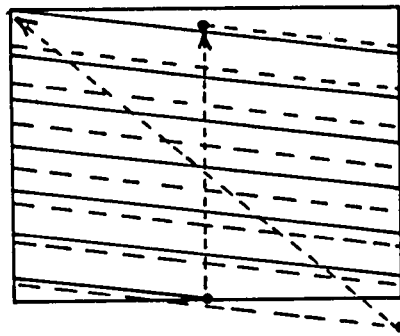


図 A 5.15 実際のラスタのパターン

実線：第1フィールド
 破線：第2フィールド
 (帰線時間を0としてある)

A 5.3 筆者の構成 (I)

前項で述べた方式が垂直同期信号の位相を1フィールドごとに $\frac{H}{2}$ だけ遅らせたり戻したりするものであったのに対して、本項では垂直偏向周期を一定に保って水平偏向の位相を1フィールドごとに $\frac{H}{2}$ だけ変える方法について述べる。

A 5.3.1 構成と動作原理

図 A 5.16 は系統図である。また図 A 5.17 に各部波形を示す。

水平原発振器とそれに続くクリップは前項(I)で説明した第1の構成のものと同様である。ここで水平偏向周波数の2倍、31.5 kHzの波を発生し、これで双安定マルチバイブレータをトリガする。双安定マルチバイブレータからは15.75 kHzの矩形波が2系列とり出される。これらは図 A 5.17 (a)(b)に示すようにたがいに極性が反対である。これら15.75 kHzの矩形波のうちの一つで、約60 Hzの波を発生する垂直原発振器(非安定マルチバイブレータ、ブロッキング発振器など)に同期をかけ、図 A 5.17 (b)(c)に示すように立上りを一致させる。つぎに60 Hzの波(c)でもう一つの双安定マルチバイブレータをトリガすると、双安定マルチバイブレータの出力は図 A 5.17 (d)(e)のようになる。矩形波(d)の正の期間に(a)をゲートしてぬき出すと(f)が得られ、同様に(e)で(b)をゲートすると(g)が得られる。(f)、(g)をORゲートに通すと(h)のような波が得られ、これを微分して正成分だけをとる

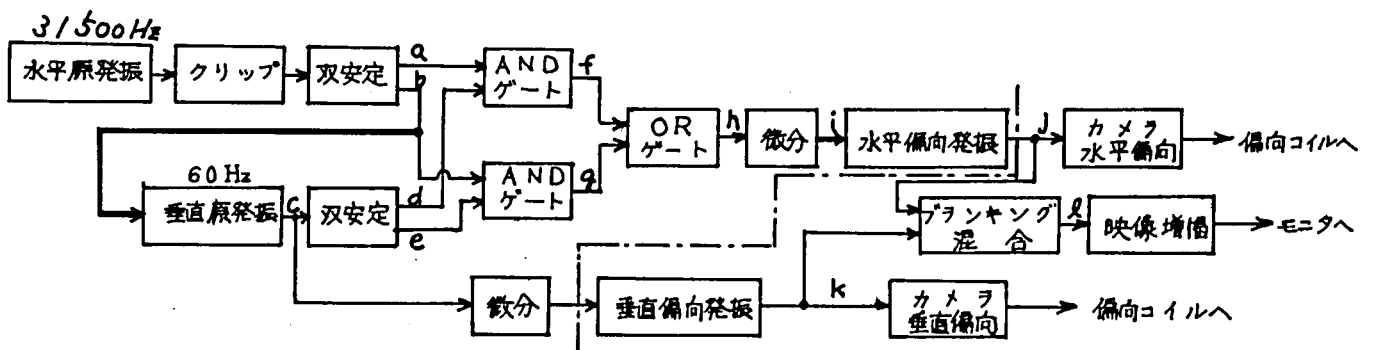
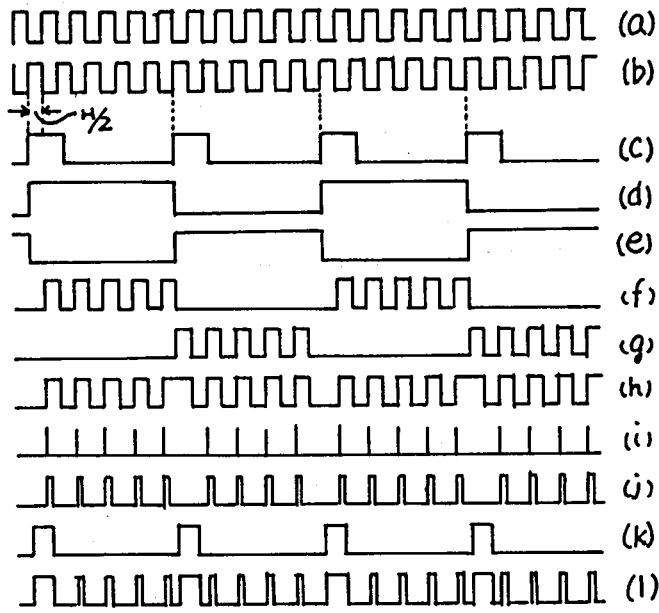
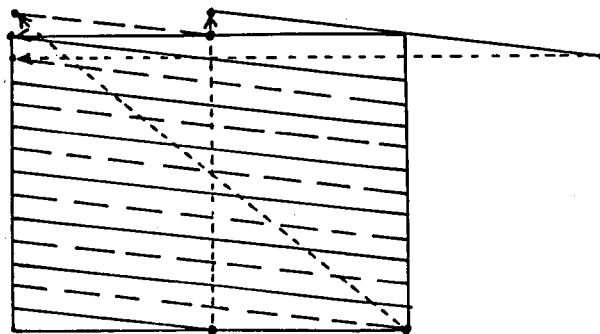


図 A 5.16 構成(I)の系統図



図A 5.17 構成(II)における各部波形。符号は図A 5.16に対応する

と(i)なるパルス列を得る。(i)の繰返し周波数は15.75kHzで、かつその位相は1垂直偏向期間ごとに $\frac{H}{2}$ だけ遅れたり戻ったりする。このようなパルスで水平偏向発振器をトリガすれば(j)が得られ、これでカメラの水平偏向を駆動する。一方60Hzの垂直原発振で垂直偏向発振器をトリガし、垂直偏向駆動パルス(k)を得る。(j),(k)をブランキング混合器で混合して(l)のような複合同期信号を作る。この同期方式をとった場合、図A 5.18のような走査パターンが得られるはずである。



図A 5.18 構成(II)の走査のパターン

実線：第1フィールド
破線：第2フィールド

A 5.3.2 実験

(1) 実験装置

図A 5.16の鎖線から右側は前項で述べた構成(I)とまったく同じであるので、この部分については前項(2)(a)で説明したと同じ実験装置を用い、鎖線から左の部分だけを同期回路として組んだ。図A 5.19はその結線図である。

(2) 実験結果

図 A 5.20 はモニタブラウン管上の映像とラスタの写真である。ラスタは曲り，映像は大きくひずむ。インターレースそのものは多少ペアリング傾向があるが，全体的には構成(I)にくらべて均一で良好である。

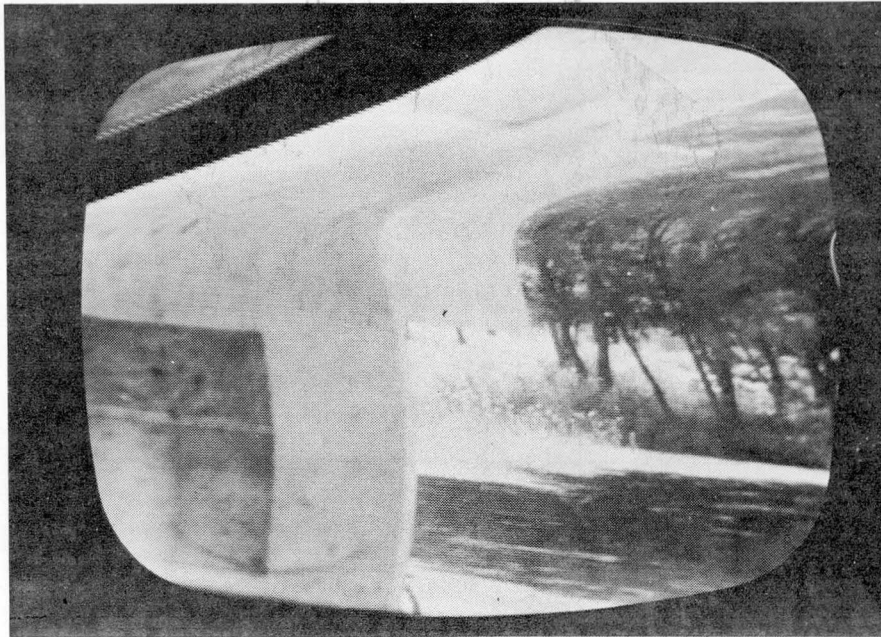


図 A 5.20 構成(II)の映像写真

A 5.3.3 考察

実験結果に見られるような画面の曲りは，モニタの水平偏向発振回路に A F C（自動周波数制御）方式が用いられているからである。水平偏向発振の A F C は要するに発振に慣性をもたせて雑音に対する耐性をつけているのである。したがってここに述べた同期方式のように第 1 フィールドと第 2 フィールドとで水平同期信号の位相が異なる場合には，フィールドが変わって水平同期信号の位相が変化しても，発振器は前のフィールドにおける位相関係を保ったまま発振し続けようとする。そして新しいフィールドにおける同期信号の位相と一致するまでの間，画は斜に流れてしまうことになる。これを避けるためには発振周波数制御電圧を発振管に供給する回路の時定数を小さくして慣性を小さくすればよいが，これは逆にいえば A F C の効果を殺し，雑音に対して無抵抗にするということである。ただし水平偏向発振に A F C を採らず，同期信号による直接トリガ方式をとるならば，上記のようないちじるしい画質の損傷は起らず，せいぜい走査線数本分の同期の乱れが現われるだけですむはずである。

いずれにしても垂直または水平同期信号の位相，周期をフィールドごとに変えるのはやはりあまり得策とはいえない。水平偏向，垂直偏向の周期は一定でなければならない。そしてかつインターレースをさせるためには，前項の構成(I)のように垂直同期信号の位相を 1 フィールドごとに $\frac{H}{2}$ 遅らせたり戻したりするのではなくて， $\frac{H}{2}$ ずつ常に進めて行くか，遅らせて行くという操作が必要である。このことは結局水平偏向の周波数 f_H と垂直偏向周波数 f_V との関係を

$$2 f_H = n f_V \quad (n : \text{奇数}) \quad (\text{A 5.3})$$

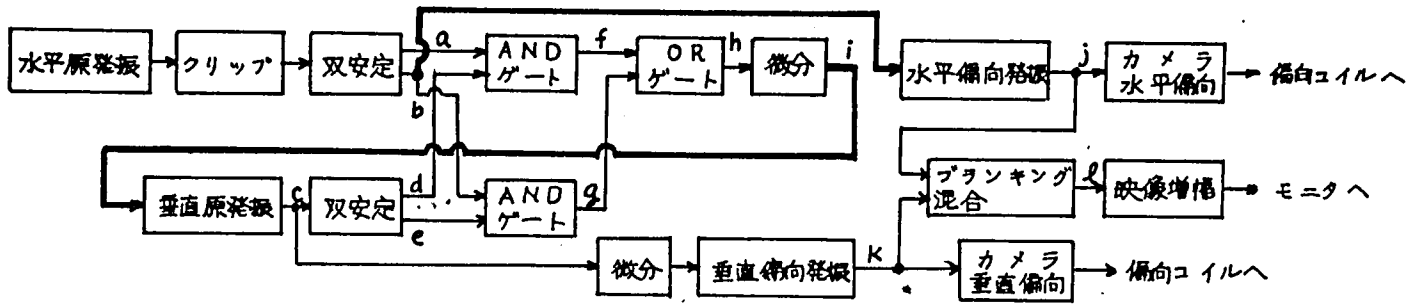


図 A 5.21 構成(II)を改善した構成。Picturephone の構成と同じである。

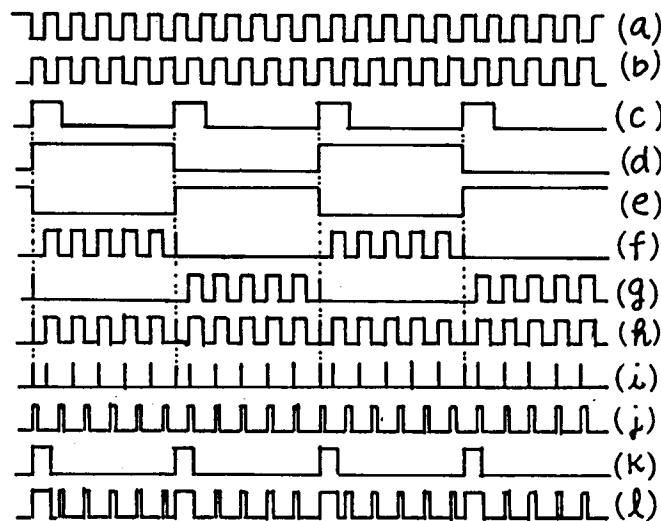


図 A 5.22 改善された構成の各部波形

に保つということにほかならない。これを構成(II)と類似の方法で実現するためには、図 A 5.21 および図 A 5.22 に示す構成にすればよいことがわかる。すなわち上記の関係を満足して、垂直偏向の周期が水平偏向の周期の整数倍よりも $\frac{H}{2}$ ずつ順次遅れ、あるいは進んで行くためには、双安定の出力(a), (b)の両方を交互にとり出して、これで垂直原発振の立上りをきめなければならない。そのためには垂直側のマルチバイブレータの出力(c), (d)で(a), (b)を交互にゲートしてぬき出し、その出力でもう一度垂直原発振をトリガするという手順をふまなければならないことがわかるのである。この最後の構成は結局本質的には Picturephone の方法と同じであって、図 A 5.16 の太線で示した部分の接続を図 A 5.21 のように変えることによって実現される。

付録の参考文献

- A 1) A.D.Hall: "Experiments with Picturephone Service," Bell Lab. Record, 42, p.114, (1964)
- A 2) L.A.Meacham: "The Picturephone Set," IEEE. Trans., BC-12, p.37, (1966)
- A 3) G.J.Lunn, H.Mumford: "Television and the Telephone," ATE.J., 21, No.2, p.54, (1965)
- A 4) 西村, 大竹: 「簡易な同期信号発生回路」, 第2回テレビ学会全大予稿7-4 (1966)
- A 5) 西村, 日比: 「テレビ電話の同期回路」, 昭42電気四学会連大予稿2090